

Tugas Akhir - TL141584

**REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONITIK DENGAN VARIASI JENIS  
REDUKTOR TERHADAP KADAR Ni DAN Fe  
SERTA *RECOVERY* MENGGUNAKAN *BED* BATU  
BARA**

**DEDE ZULYANSYAH**  
NRP. 02511440000054

Dosen pembimbing  
Sungging Pintowantoro, Ph.D.  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR - TL141584**

**REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONITIK DENGAN VARIASI JENIS  
REDUKTOR TERHADAP KADAR Ni DAN Fe  
SERTA *RECOVERY* MENGGUNAKAN *BED* BATU  
BARA**

**DEDE ZULYANSYAH**  
NRP 025114 40000 054

Dosen Pembimbing :  
Sungging Pintowantoro, Ph.D.  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**Final Project - TL141584**

# **DIRECT REDUCTION LATERIT LIMONITIC NICKEL ORE WITH VARIATION TYPE OF REDUCTOR TO Fe AND Ni PURITY AND RECOVERY USING COAL-DOLOMIT BED**

**DEDE ZULYANSYAH**  
**NRP 02511440000054**

**Advisor :**

**Sungging Pintowantoro, Ph.D.**

**Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**

**Departement of Materials Engineering  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2018**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONITIK DENGAN VARIASI JENIS REDUKTOR  
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA *RECOVERY*  
MENGUNAKAN *BED* BATU BARA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**DEDE ZULYANSYAH**

NRP. 025114 40000 054

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sungging Pintowantoro, Ph.D. .... (Pembimbing I)

Fakhreza Abdul S.T., M.T. .... (Pembimbing II)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONITIK DENGAN VARIASI JENIS REDUKTOR  
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA *RECOVERY*  
MENGUNAKAN *BED* BATU BARA**

**Nama Mahasiswa** : Dede Zulyansyah  
**NRP** : 025114 40000 054  
**Jurusan** : Departemen Teknik Material  
**Dosen Pembimbing** : Sungging Pintowantoro, Ph.D.  
Fakhreza Abdul, S.T., MT.

**Abstrak**

*Pemanfaatan bijih nikel laterit low grade terus meningkat seiring dengan bertumbuhnya permintaan stainless steel. Proses reduksi langsung ternyata mampu meningkatkan kadar nikel laterit limonit dengan menggunakan gas CO dan CO<sub>2</sub> sebagai agen pereduksi. Gas CO dan CO<sub>2</sub> pada atmosfer reduksi didapat dari penambahan reduktor (batu bara, arang, green coke) dan fluks dolomit pada proses reduksi. Penelitian ini membahas pengaruh penambahan variasi jenis reduktor pada briket nikel laterit limonitik terhadap kandungan Ni dan Fe serta recovery Ni dan Fe. Briket direduksi dalam crucible bed menggunakan muffle furnace dengan cara direaksikan pada temperatur 1400<sup>0</sup>C dengan waktu holding selama 6 jam. Pengujian EDX dan XRD dilakukan untuk mengetahui kadar dan recovery Ni dan Fe. Kadar Ni tertinggi diperoleh dengan menggunakan reduktor green coke yaitu sebesar 15,23%. Kadar Fe tertinggi diperoleh dengan reduktor arang batok kelapa yaitu sebesar 61,22%. Recovery Ni tertinggi yaitu dengan reduktor green coke yaitu sebesar 96% dan recovery Fe tertinggi yaitu dengan penambahan reduktor batu bara yaitu sebesar 18,8%. Adanya peningkatan kadar Ni dipengaruhi oleh ukuran pori reduktor sehingga menyebabkan kecepatan reaksi untuk menghasilkan kadar karbon yang lebih optimal.*

**Kata Kunci** : *Nikel Laterit, Reduksi Langsung, Dolomite, Batu Bara, Arang, Green Coke, Bed*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **DIRECT REDUCTION LATERIT LIMONITIC NICKEL ORE WITH VARIATION TYPE OF REDUCTOR TO Fe AND Ni PURITY AND RECOVERY USING COAL- DOLOMIT BED**

**Name** : Dede Zulyansyah  
**NRP** : 02511440000054  
**Departement** : Departemen Teknik Material  
**Advisor** : Sungging Pintowantoro, Ph.D  
Fakhreza Abdul, S.T., MT.

## **Abstract**

*The utilization of low grade laterite nickel ore continues to increase as demand for stainless steel and sulphide ore supply decreases. The direct reduction process can increase the nickel content of limonite laterite by using CO and CO<sub>2</sub> as reducing agents. CO and CO<sub>2</sub> gases in the reduction atmosphere are obtained from the addition of reducing agents (coal, charcoal, green coke) and dolomite flux to the reduction process. This study discusses the effect of reductor on nickel limonitic nickel briquettes on Ni and Fe content and recovery of Ni and Fe. The briquettes are reduced by heating to a temperature of 1400<sup>0</sup>C with a holding time of 6 hours. The EDX and XRD tests were performed to determine the levels and recovery of Ni and Fe. The highest Ni content was obtained by using green coke reducer which was 15,23%. The highest Fe content was obtained by calculating coconut shell charcoal reductor that is equal to 61,22%. Ni recovered the highest with the addition of green coke reductor that is equal to 96% and Fe recovered the highest with the addition of coal reductor that is equal to 18,8%.*

**Keywords** : Nickel Laterite, Direct Reduction, Dolomite, Coal, Shell Chorcaol, Green Coke, Bed

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun laporan tugas akhir dengan baik. Tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT LIMONITIK DENGAN VARIASI JENIS REDUKTOR TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA *RECOVERY* MENGGUNAKAN *BED* BATU BARA”**.

Dengan terbentuknya laporan tugas akhir ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama rangkaian penyelesaian tugas akhir, diantaranya kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Kedua Orang Tua, yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh studi.
3. Saudara penulis Fahri Rosian, Rifwan Fahddila, Ashfa Ulya dan Ridha Rosiana yang telah memberikan doa, perhatian, dukungan, dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.

5. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan banyak ilmu.
6. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si. Selaku dosen wali yang sangat mengayomi.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Teman- teman saya STRAITER Surabaya yang selalu memberikan support, canda dan tawa.
9. Koch dan Hutrizain yang banyak membantu memberikan ilmu. Juga pengajaran format laporan ini.
10. Teman-teman Lab. Ekstraksi yang telah membantu tugas akhir saya Hendy, Septiyen, Abrar, Imam, Dharma, Fadhli, Emral, Icod, Ghofur, Abrar dan Opiq yang sudah banyak memberi saran serta ilmu untuk tugas akhir saya.
11. Keluarga MT 16 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material.
12. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama.

Surabaya, Juni 2018  
Penulis

Dede Zulyansyah

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b>	
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Nikel Laterit.....	5
2.2. Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit.....	6
2.3. Aglomerasi Nikel Laterit Limonitik .....	9
2.4. Reduktor.....	12
2.5. Dolomit .....	18
2.6. <i>Selective Agent</i> .....	19
2.7. Termodinamika Nikel Laterit Limonitik.....	21
2.8. Kinetika Reduksi Ore.....	26
2.9. Kajian Penelitian Sebelumnya .....	28

<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>35</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	35
3.2. Bahan Penelitian .....	37
3.3. Peralatan Penelitian.....	41
3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	45
3.5. Rancangan Penelitian.....	54
3.6. Jadwal Penelitian.....	54
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>57</b>
4.1. Karakterisasi Bahan Penelitian .....	57
4.2. Pengaruh Variasi Jenis Reduktor Terhadap Kadar Unsur Ni dan Fe Produk Hasil Proses Reduksi .....	63
4.3. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap <i>Recovery</i> Unsur Fe dan Ni pada Produk Hasil Proses Reduksi .....	69
4.4. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap Faktor Selektivitas Hasil Produk Proses Reduksi .....	72
4.5. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap Fasa yang Terbentuk pada Produk Hasil Proses Reduksi.....	74
4.6. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap Kadar Unsur Fe serta Fasa yang Terbentuk pada <i>Slag</i> Hasil Proses Reduksi.....	77
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>81</b>
5.1. Kesimpulan .....	81
5.2. Saran .....	82
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xix</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Profil Nikel Laterit .....	6
<b>Gambar 2. 2</b>	Diagram Ekstraksi Nikel dan Ferronickel.....	9
<b>Gambar 2. 3</b>	Bentuk Briket .....	10
<b>Gambar 2. 4</b>	Batu Bara .....	14
<b>Gambar 2. 5</b>	Arang Batok Kelapa.....	16
<b>Gambar 2. 6</b>	Green Coke .....	17
<b>Gambar 2. 7</b>	Dolomit .....	19
<b>Gambar 2. 8</b>	Natrium Sulfat.....	20
<b>Gambar 2. 9</b>	Diagram Ellingham.....	21
<b>Gambar 2. 10</b>	Diagram Reaksi Boudouard.....	24
<b>Gambar 2. 11</b>	Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori .....	27
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	36
<b>Gambar 3. 2</b>	Bijih Nikel Laterit Limonitik .....	37
<b>Gambar 3. 3</b>	Batu Bara .....	38
<b>Gambar 3. 4</b>	Arang Batok Kelapa.....	38
<b>Gambar 3. 5</b>	Green Coke .....	39
<b>Gambar 3. 6</b>	Batu Kapur (Dolomite) .....	39
<b>Gambar 3. 7</b>	Natrium Sulfat.....	40
<b>Gambar 3. 8</b>	Tepung Tapioka .....	40
<b>Gambar 3. 9</b>	Alat Kompaksi .....	41
<b>Gambar 3. 10</b>	Muffle Furnace.....	42
<b>Gambar 3. 11</b>	Crucible.....	43
<b>Gambar 3. 12</b>	Timbangan Digital .....	43
<b>Gambar 3. 13</b>	Ayakan .....	44
<b>Gambar 3. 14</b>	Thermocouple .....	44
<b>Gambar 3. 15</b>	Oven.....	45

<b>Gambar 3. 16</b>	Posisi Briket dalam Crucible.....	47
<b>Gambar 3. 17</b>	XRD PAN Analytica.....	48
<b>Gambar 4. 1</b>	Hasil XRD Bijih Nikel Laterit .....	58
<b>Gambar 4. 2</b>	Hasil Pengujian XRD Dolomit.....	63
<b>Gambar 4. 3</b>	Pengaruh Variasi Jenis Reduktor Terhadap Kadar Ni pada Produk Hasil Reduksi .....	64
<b>Gambar 4. 4</b>	Kadar Fe Produk Hasil Reduksi .....	67
<b>Gambar 4. 5</b>	Recovery Ni Produk Hasil Reduksi .....	70
<b>Gambar 4. 6</b>	Recovery Fe Produk Hasil Reduksi .....	72
<b>Gambar 4. 7</b>	Nilai Selectivity Factor .....	73
<b>Gambar 4. 8</b>	Hasil Pengujian XRD pada Metal Hasil Reduksi .....	75
<b>Gambar 4. 9</b>	Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap Kadar Fe pada Slag Produk .....	78
<b>Gambar 4. 10</b>	Hasil Pengujian XRD pada Slag Hasil Reduksi .....	79

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b>	Coal Typical Content .....	13
<b>Tabel 2. 2</b>	Karakteristik Arang Batok Kelapa.....	16
<b>Tabel 2. 3</b>	Karakteristik Bahan Baku Green Coke.....	18
<b>Tabel 2. 4</b>	Kajian Penelitian Sebelumnya .....	32
<b>Tabel 3. 1</b>	Target Aglomerasi Nikel Laterit Limonit.....	53
<b>Tabel 3. 2</b>	Perbandingan Komposisi Ore : Reduktor : Fluks : Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : Kanji .....	53
<b>Tabel 3. 3</b>	Kadar Ni dan Fe pada Briket .....	54
<b>Tabel 3. 4</b>	Rancangan Penelitian .....	54
<b>Tabel 3. 5</b>	Jadwal Penelitian .....	55
<b>Tabel 4. 1</b>	Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit Limonit ..	57
<b>Tabel 4. 2</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara .....	59
<b>Tabel 4. 3</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Arang Batok Kelapa.....	60
<b>Tabel 4. 4</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Green Coke ...	61
<b>Tabel 4. 5</b>	Hasil Pengujian EDX Dolomit .....	62
<b>Tabel 4. 6</b>	Perbandingan Ukuran Pori terhadap Kadar Ni Produk .....	66
<b>Tabel 4. 7</b>	Nilai Bulk Density Reduktor .....	66
<b>Tabel 4. 8</b>	Perhitungan Massa dan Recovery Ni Hasil Reduksi	69
<b>Tabel 4. 9</b>	Perhitungan Massa dan Recovery Fe Hasil Reduksi	71
<b>Tabel 4. 10</b>	Identifikasi Fasa pada Produk Logam Hasil Proses Reduksi .....	77
<b>Tabel 4. 11</b>	Identifikasi Fasa pada Produk Slag Hasil Proses Reduksi .....	79

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia mempunyai kekayaan alam yang cukup melimpah seperti mineral logam. Beberapa mineral logam yang dihasilkan dari industri pertambangan berupa timah, nikel, tembaga, emas, perak dan lain-lain. Berdasarkan data Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki sumberdaya nikel sebesar 2.633 juta ton dengan cadangan nikel sebesar 577 juta ton (Virman dkk, 2014). Cadangan nikel di Indonesia sebesar 1576 ton dari cadangan nikel dunia (Astuti dkk, 2012). Terdapat tiga daerah penghasil nikel di Indonesia yaitu Sulawesi, Papua, dan Kalimantan. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2016, nikel merupakan salah satu jenis produksi pertambangan yang paling menonjol di daerah Sulawesi Tenggara. Selain itu, di Sulawesi Selatan, komoditas ekspor terbesar adalah nikel dengan nilai ekspor sebesar 36,57 juta dolar atau 53,30 persen dari total nilai ekspor. Oleh karena itu Indonesia berpotensi menjadi eksportir utama kebutuhan nikel di dunia.

Sumber nikel pada dasarnya berasal dari dua sumber, yaitu batuan sulfida dan batuan laterit. Selama ini, sebanyak 60% kebutuhan akan nikel secara komersial dipasok dari batuan sulfida. Padahal, sekitar 70% cadangan nikel dunia terperangkap dalam bentuk laterit. Satu-satunya alasan mengapa batuan laterit tidak diminati sebagai sumber utama nikel adalah karena kadar nikelnya yang rendah sehingga dibutuhkan treatment khusus untuk meningkatkan kadar nikel di dalam batuan laterit. Meningkatnya kebutuhan akan nikel dan menipisnya cadangan batuan sulfida memaksa industri untuk mulai mempertimbangkan sumber cadangan batuan laterit sebagai salah satu sumber utama nikel di masa depan. Namun, kadar nikel yang terkandung dalam laterit kadarnya sangat rendah, yakni sekitar 0.5-1.0 % (Kyle, 2010). Oleh karena itu dibutuhkan perlakuan khusus untuk meningkatkan kadar



nikel di dalam batuan laterit. Bijih nikel laterit dihasilkan dari pelapukan batuan ultramafik dengan kandungan zat besi dan magnesium yang cukup tinggi dan biasanya terdapat di daerah tropis maupun sub-tropis (Astuti dkk, 2012). Bijih nikel sulfida terbentuk melalui proses vulkanik atau hidrotermal dan banyak mengandung tembaga dan kobalt, dan mengandung sedikit logam mulia seperti emas, platinum, palladium dan rhodium (Pournaderi. S, 2014). Indonesia sendiri, terdapat 1,391 ton cadangan bijih nikel laterit (Nurhakim dkk, 2011). Laterit adalah produk hasil pelapukan batuan secara kimiawi yang berlangsung dalam waktu yang panjang pada kondisi iklim basah atau lembab. Laterit dapat diproses untuk menghasilkan nikel. Pada dasarnya batuan laterit dapat dibagi menjadi dua lapisan, yaitu lapisan limonit dan saprolit. Dalam masing-masing lapisan tersebut terkandung jenis mineral yang bermacam-macam. Mineral utama penyusun lapisan limonit adalah *gheothite* [ $\text{FeO}(\text{OH})$ ] dan *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sedangkan pada lapisan saprolit disusun oleh mineral *serpentine* [ $(\text{Ni}, \text{Mg})\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ] (Yildirim *et al.*, 2012).

Proses reduksi bijih nikel laterit dipengaruhi oleh perbandingan kandungan gas CO dan  $\text{CO}_2$  pada atmosfer reduksi, dengan kandungan CO yang lebih tinggi akan menyebabkan reduksi semakin baik (Iwan Setiawan, 2016). Gas CO dan  $\text{CO}_2$  pada atmosfer reduksi didapat dari penambahan batubara dan fluks (dolomit, limestone, quicklime) pada proses reduksi. Temperatur reduksi dan waktu reduksi secara significant mempengaruhi perkembangan partikel Ni dan Fe, ukuran dan kadar partikel meningkat seiring peningkatan temperatur reaksi dan lamanya waktu reaksi. Penambahan batubara dan fluks dalam *crucible (bed)* dilakukan untuk mengontrol kandungan CO dan  $\text{CO}_2$ . Selain itu penambahan *selective agent* seperti  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dapat meningkatkan selektivitas dan ukuran partikel feronikel yang terbentuk. (Yan-Jun Li, dkk 2013)

Penelitian ini dilakukan dengan mereduksi langsung bijih nikel laterite kadar rendah (limonite) dengan menggunakan gas CO sebagai hasil reaksi antara reduktor (batu bara, arang dan *green*

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



*coke*) dengan fluks (dolomite). Variasi jenis reduktor akan dilakukan pada *bed* batu bara akan menentukan perbandingan gas CO/CO<sub>2</sub> yang terbentuk sehingga akan mempengaruhi mekanisme reduksi. Oleh karena itu dengan menentukan jenis reduktor yang optimum diharapkan dapat mendapatkan kadar Ni tertinggi dan recovery nikel yang baik juga. Sehingga didapatkan suatu proses yang optimal untuk proses pengolahan nikel laterit dengan kadar rendah yaitu limonit.

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis reduktor pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap kadar unsur Ni dan Fe yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis reduktor pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap *recovery* unsur Ni yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh variasi jenis reduktor pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap senyawa produk yang dihasilkan?

## 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposisi bijih laterit, jenis reduktor dan fluks (dolomit) yang digunakan diasumsikan homogen.
2. Tekanan kompaksi yang diberikan dianggap homogen.
3. Tapioka digunakan sebagai pengikat dan pengaruh dari reaksi tapioka diabaikan.
4. Permeabilitas dan porositas diasumsikan homogen.
5. Energi panas yang digunakan pada proses reduksi berasal dari *furnace*. Energi panas pembakaran batu bara tidak dipertimbangkan.



6. Temperatur di bagian luar dan bagian dalam *crucible* dianggap sama.
7. Waktu tahan saat pemanasan dianggap sama.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi jenis reduktor pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap kadar unsur Ni dan Fe.
2. Menganalisis pengaruh variasi jenis reduktor pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap *recovery* unsur Ni.
3. Menganalisis pengaruh variasi jenis reduktor pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik terhadap senyawa produk yang dihasilkan.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empiris dari parameter proses (variasi reduktor) yang optimal untuk meningkatkan kadar dan *recovery* nikel pada proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik yang berasal dari Sulawesi Tenggara menggunakan reaktor *bed* batu bara.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Nikel Laterit**

Nikel banyak ditemukan dalam bentuk mineral Laterit. Laterit terbagi atas tiga jenis yaitu endapan silikat Ni, Mg-Ni silikat pada mineral *Garnierite*; endapan silikat Ni pada mineral *Nontronite*; dan endapan oxide pada mineral *Goethite*. Untuk mineral Laterit di Indonesia terbesar kedua setelah negara New Caledonia yaitu sebesar 50% (Brand, 1998). *Goethite* ( $\text{FeOOH}$ ) berstruktur Kristal ortorombik dan bersifat antiferromagnetik (Marcos, 2006). Nikel laterit adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Proses ini berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi. Pelapukan pada peridotit menyebabkan unsurunsur dengan mobilitas rendah sampai immobile seperti Ni, Fe dan Co mengalami pengayaan secara residual dan sekunder (Burger, 1996). Laterit terutama terdapat di wilayah beriklim tropis dan subtropis yang memiliki suhu tinggi dan curah hujan yang cukup. Akibatnya laterit banyak ditemukan di Brasil, Filipina, India, Afrika Selatan, Amerika Serikat dan Indonesia (daerah Sulawesi Tenggara) serta beberapa wilayah lain yang memiliki iklim tropis dan subtropis. Mineral yang dimaksud kebanyakan berada dalam kerak bumi yang keras dan memiliki ketebalan mulai 6 meter hingga 20 meter dari permukaan tanah. Laterit jenis tersebut memungkinkan untuk digunakan sebagai sumber besi dan nikel. Dengan komposisi nikel sebesar 25% dan kandungan besi dibawah 10%.

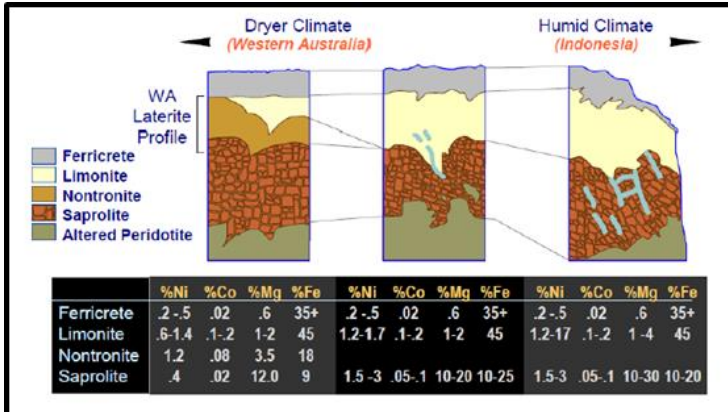
Dalam beberapa penelitian saat ini, dapat dikatakan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel dalam waktu dekat di masa yang akan datang. Ada banyak alasan yang menjadikan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel, antara lain :

1. Ketersediaan : Cadangan nikel yang ada di dunia yaitu 36% berupa sulfida dan 64% berupa laterit. Jumlah bijih laterit lebih banyak daripada bijih sulfida.



2. Biaya Penambangan : Karena bijih sulfida terletak pada *hard rock*, sebagai eksplorasi lebih lanjut cadangan sulfida akan didapatkan pada bagian yang lebih dalam yang menyebabkan biaya penambangan lebih tinggi. Sedangkan penambangan bijih laterit pada dasarnya yaitu berpindah-pindah yang bagaimanapun juga menjadikan biaya penambangannya lebih rendah.
3. Efek terhadap lingkungan : Produksi nikel dari bijih sulfida menimbulkan masalah pada lingkungan yaitu terciptanya emisi sulfur oksida. Sedangkan produksi nikel berbasis bijih laterit memiliki masalah lingkungan lebih sedikit.

Faktor teknologi : Ada cara yang dapat membuat proses produksi nikel berbasis laterit lebih menguntungkan melalui pengurangan biaya produksi dan peningkatan pendapatan oleh produk. Sehingga membuat produksi nikel berbasis laterit lebih ekonomis dan kompetitif (Shoubao Li, 1999).



**Gambar 2.1** Profil Nikel Laterit (Dalvi, 2004)

## 2.2. Teknologi Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Pengolahan metalurgi dari nikel laterit dapat dibagi menjadi dua proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Hasil



dari pirometalurgi berupa feronikel (Fe-Ni) dan nikel pig iron (NPI) sedangkan hidrometalurgi secara majority menghasilkan Ni dan Co. Pemilihan proses yang akan digunakan ini dipengaruhi oleh kandungan pada bijih, peningkatan kandungan yang terbatas, teknologi pengolahan yang kompleks, kondisi geografis, dan kebutuhan infrastruktur, seperti; pembangkit listrik, pelabuhan, infrastruktur jalan dan fasilitas pengolahan slag (Filipe Manuel R, 2013).

Beberapa proses ekstraksi nikel berbasis laterit diantaranya :

1. *Laterite Pyrometallurgy - Ferronickel Process*

Bahan umpan yang digunakan ialah laterite jenis saprolite. Selanjutnya saprolite akan di-*screening*, *crushing* dan *blending* terlebih dahulu. Lalu bijih dimasukkan ke dalam rotary kiln atau *vertical shaft reduction furnace* dan mengalami pada temperature 1000°C. Selama proses ini, air kristal tereduksi diikuti dengan reduksi nikel dan sebagian besi ke dalam *metallic state*. Kemudian, mereduksi hasil kalsinasi dengan cara direaksikan dengan sulfur dalam *electric furnace*. Sulphur dapat ditambahkan baik dalam bentuk unsur maupun dalam bentuk gypsum atau pirit. Akibatnya, terak yang mengandung komponen oksida dari bijih dan sulfida nikel terbentuk. Konsentrat yang berisi 30-35% nikel, kemudian dibawa ke *converter*, di mana udara ditiupkan ke dalam *converter*, sehingga mengoksidasi besi. Konsentrat akhir yang mengandung 75-78% Ni . Proses selanjutnya di dalam electric arc furnace pada proses ini, bijih pertama dipanaskan dan dikalsinasi untuk menghilangkan uap air dan air yang berikatan secara kimia, kemudian diproses langsung ke tanur listrik dan mengalami reduksi dan mencair pada temperatur sekitar 1550°C. Hampir semua nikel dan sebagian besar besi tereduksi pada tahap ini dan paduan *FerroNickel* terbentuk, yang biasanya mengandung sekitar 25% Ni. Proses terakhir yaitu memurnikan *crude FerroNickel* menjadi produk yang dapat dijual. Proses pemurnian yang dilakukan yaitu mengeluarkan *crude FeNi* dari tanur listrik ke dalam *Ladle*, dimana zat *additive* seperti soda ash, lime, dan

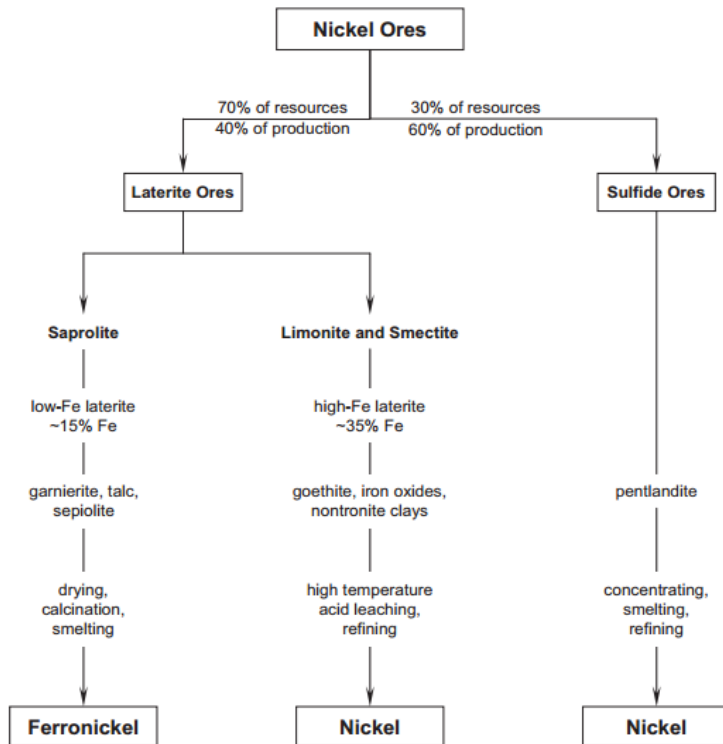


---

*calcium carbide* ditambahkan ke dalam *crude FeNi* untuk menghilangkan unsur-unsur pengotor (Li, 1999)

## 2. *Laterite Hydrometallurgy -The Caron Process*

Bahan umpan yang digunakan adalah laterite limonit. Ada 4 langkah yang utama, yaitu pengeringan bijih dan *grinding*, *reduction roasting*, *leaching* dengan menggunakan larutan *ammonium carbonate*, dan *metal recovery*. Pada proses ini *Reduction roasting* merupakan proses yang sangat penting. Temperatur reduksi harus dikontrol dengan baik agar mendapatkan *recovery* nikel dan cobalt secara maksimal. Kalsinasi dilakukan pada temperature 850<sup>0</sup>C. Selanjutnya hasil kalsinasi akan melalui proses *amonia leaching* pada hot temperatur sekitar 150<sup>0</sup>-200<sup>0</sup>C. *Caron Process* dapat me-recover 70 – 80% nikel dan hanya 40 – 50% kobalt. Proses ini diutamakn untuk bijih laterit jenis limonit. Ketika proses ini untuk bijih serpentit atau bijih laterit yang mengandung besi dengan kadar rendah serta magnesium dengan kadar yang tinggi, maka *recovery* nikel akan menurun secara signifikan. Dikarenakan magnesium lebih dominan untuk bereaksi dengan silica dan NiO, hal ini membuat sebagian besar NiO akan tidak tereduksi ketika proses reduksi *roasting*. Selain Caron Process masih terdapat beberapa proses hidrometalurgy yang digunakan dalam pengolahan nikel laterite yakni HPAL (*high pressure acid leaching*), AL (*Atmospheric leaching*), HL (*Heap Leaching*), *Bioleaching* dan beberapa kombinasinya.



**Gambar 2. 2** Diagram Ekstraksi Nikel dan *Ferronickel* (Dalvi, 2004)

### 2.3. Aglomerasi Nikel Laterit Limonitik

Proses aglomerasi yang digunakan berupa pembriketan. Campuran dari laterit, batu bara, dan fluks dikompresi dalam suatu cetakan dengan bentuk tertentu, dengan komposisi tambahan berupa kanji yang berfungsi sebagai zat pengikat.

Kanji digunakan sebagai pengikat (binder) briket untuk meningkatkan kekuatan green biket sebelum proses *roasting*, mengurangi tingkat degradasi briket saat transportasi dan handling. Karena hanya untuk keperluan sebelum proses *roasting*, binder tidak boleh memberikan efek negative pada proses *roasting*. Kanji



dipilih sebagai binder karena kanji merupakan zat organik, yang akan terbakar habis saat pemanasan.

Menurut Li (2012), perlu ditambahkan bahan tambahan berupa Natrium Sulfat untuk mekanisme *selective reduction* pada Ni. Secara spesifik pembriketan dibagi menjadi briket dingin dan briket panas. Briket dingin hanya dilakukan pada temperature kamar, sedangkan briket panas dilakukan proses kalsinasi hingga temperature diatas 1000°C hingga dibawah temperatur lelehnya. Proses kalsinasi dilakukan dalam proses *roasting*.



**Gambar 2. 3** Bentuk Briket (artaeco.com)

Proses pembriketan yang dilakukan berupa briket panas, hal ini dilakukan untuk memperoleh komposisi kimia briket laterit yang sesuai dengan proses produksi NPI (*Nickel Pig Iron*) pada *Mini Blast Furnace*. Proses pembriketan panas harus mencakup (Crundwell, 2011):

1. Menghilangkan sisa kadar air pada ore (untuk menghindari terjadinya ledakan pada *mini blast furnace*)
2. Mereduksi sekitar seperempat nikel dalam ore menjadi nikel metal
3. Mereduksi mineral  $\text{Fe}^{3+}$  menjadi mineral  $\text{Fe}^{2+}$  dengan kadar tinggi dan sekitar 5 % dari besi menjadi besi metal
4. Menambah batu bara dengan cukup, sehingga kadar mineral yang tersisa untuk reduksi tahap akhir pada *mini blast furnace*.

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



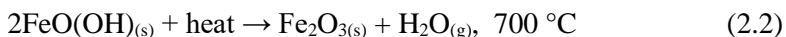
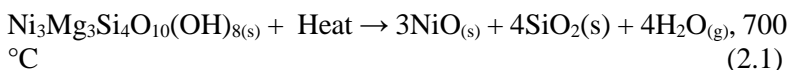
Bentuk briket yang digunakan berupa bentuk bantal (*pillow*) dipilih dengan maksud tertentu. Jika dibandingkan dengan briket berbentuk bola yang memiliki keseragaman tegangan di seluruh permukaannya. Namun briket dengan bentuk bola akan sulit dibuat karena keterbatasan alat yang ada, proses pelepasan briket bola dari alat biket atau cetakan akan sulit dilakukan. Maka briket bebentuk bantal lebih mudah dibuat dengan menggunakan alat yang sudah komersial. Briket bentuk bantal dengan volume yang sama memiliki tebal penambang kecil dan luas permukaan yang lebih besar dibanding dengan bentuk bola. Hal tersebut akan meningkatkan *heat flux* saat proses pemanasan. *Heat flux* yang besar akan meningkatkan heat transfer sehingga tingkat reduksi yang terjadi juga akan semakin besar.

Pada proses pembriketan, proses reduksi yang terjadi haruslah secara optimal. Temperatur kalsinasi / *roasting* haruslah sesuai dengan temperature terjadinya reaksi reduksi dari mineral nikel dan besi dalam laterit. Ketika temperatur tidak mencukupi maka reaksi reduksi tidak optimal karena energi yang diperlukan tidak mencukupi.

Perlu juga dipertimbangkan kebutuhan gas CO sebagai agen reduktor. Gas CO berasal dari batu bara, sehingga diperlukan perhitungan kebutuhan komposisi batu bara yang sesuai. Apabila ketersediaan batu bara tidak memadai maka reaksi tidak berjalan optimal karena gas CO juga kurang untuk mereduksi mineral nikel dan besi yang ada.

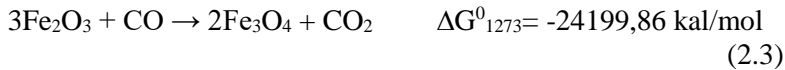
Menurut buku “Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt” (Tyroler & Landolt, 1998). Persamaan reaksi ekstraksi dari nikel laterit pada proses *roasting* ditunjukkan pada reaksi :

- Terjadi dekomposisi *garnierite* dan *goethite (ore)*





- Reaksi reduksi oleh gas CO



## 2.4. Reduktor

### 2.4.1. Batu Bara

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $\text{C}_{137}\text{H}_{97}\text{O}_9\text{NS}$  untuk bituminus dan  $\text{C}_{240}\text{H}_{90}\text{O}_4\text{NS}$  untuk antrasit.

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas : antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut.

1. Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86 - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
2. Bituminus mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA





3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
5. Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

**Tabel 2. 1** *Coal Typical Content (Brian, 2008)*

%weight	<i>Anthracite</i>	<i>Bituminous</i>	<i>Sub-Bituminous</i>	<i>Lignite</i>
<b>Heat Content (Btu/lb)</b>	13.000 – 15.000	11.000 – 15.000	8.500 – 13.000	4.000 – 8.300
<b>Moisture</b>	< 15%	2 – 15%	10 – 45%	30 – 60%
<b>Fixed Carbon</b>	85 – 98%	45 – 85%	35 – 45%	25 – 35%
<b>Ash</b>	10 – 20%	3 – 12%	< 10%	10 – 50%
<b>Sulfur</b>	0,6 – 0,8%	0,7 – 4,0%	< 2%	0,4 – 1,0%

Menurut C. F. K. Diessel (1992) pembentukan batubara diawali dengan proses biokimia, kemudian diikuti oleh proses geokimia dan fisika, proses yang kedua ini sangat berpengaruh terhadap peringkat batubara “*coal rank*“, yaitu perubahan jenis mulai dari gambut ke lignit, bituminous, sampai antrasit. Faktor yang sangat berperan didalam proses kedua tersebut adalah temperatur, tekanan, dan waktu.



**Gambar 2. 4 Batu Bara**

#### **2.4.2. Arang**

Arang adalah residu yang berbentuk padatan yang merupakan sisa dari proses pengkarbonan bahan berkarbon dengan kondisi terkendali di dalam ruangan tertutup seperti dapur arang (Masturin, 2002). Menurut Sudrajat dan Soleh (1994) dan Triono (2006) arang adalah hasil pembakaran bahan yang mengandung karbon yang berbentuk padat dan berpori. Sebagian besar porinya masih tertutup oleh hidrogen dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari abu, air, nitrogen, dan sulfur.

Arang adalah produk yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa akan menyebabkan senyawa karbon kompleks tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida. Peristiwa tersebut disebut sebagai pirolisis. Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga sebagian besar molekul karbon yang kompleks terurai menjadi karbon atau arang. Pirolisis untuk pembentukan arang terjadi pada temperatur 150–3000° C. Pembentukan arang tersebut disebut sebagai pirolisis primer. Arang dapat mengalami perubahan lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen dan gas-gas hidrokarbon. Peristiwa ini disebut sebagai pirolisis sekunder. Makin rendah kadar abu, air, dan zat yang menguap



maka makin tinggi pula kadar *fixed* karbonnya. Mutu arang tersebutpun akan semakin tinggi pula (Nurjito, 2008).

Peristiwa terbentuknya arang dapat pula terjadi dengan cara memanasi secara langsung atau tidak langsung terhadap bahan berkarbon di dalam timbunan, kiln, oven, atau di udara terbuka. Untuk menghasilkan arang umumnya bahan baku dipanaskan dengan suhu diatas 500°C. Faktor yang berpengaruh terhadap proses karbonisasi adalah kecepatan pemanasan dan tekanan. Pemanasan yang cepat sukar untuk mengamati tahapan karbonisasi yang terjadi dan rendemen arang yang dihasilkan lebih rendah. Sedangkan pemakaian tekanan yang tinggi akan mampu meningkatkan rendemen arang (Hendra, 1999 *dalam* Masturin, 2002).

Ada banyak sekali jenis arang yg diproduksi di Indonesia, antara lain ialah: arang tempurung kelapa, sekam padi, kayu asem, kayu alaban, kayu besi, kayu putih, cangkang kelapa sawit, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dsb. Dari berbagai macam jenis arang tersebut yang layak digunakan sebagai agen reduktor dalam proses *Direct Reduction Iron* harus memperhatikan hal hal berikut:

1. Kandungan *fixed carbon* yang cukup tinggi
2. Kandungan sulfur dan *phospor* yang rendah
3. Kandungan *ash* yang rendah
4. Kandungan *Volatile Meter* yang rendah
5. Ketersediaan yang melimpah



**Gambar 2. 5** Arang Batok Kelapa

Arang dapat digunakan sebagai pengganti batubara, dimana kandungan *fixed carbon* yang dibutuhkan dalam proses pembakaran *Direct Reduction Iron* tercukupi. Kandungan *fixed carbon* sangat menentukan dalam proses *Direct Reduction Iron*. Semakin tinggi kandungan *fixed carbon* maka pembakaran semakin maksimal.

**Tabel 2. 2** Karakteristik Arang Batok Kelapa

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
<b>Kelembapan Total</b> <i>(Moisture)</i>	13,98	%, adb	ASTM D3173-11
<b>Kadar Abu</b> <i>(Ash)</i>	3,17	%, adb	ASTM D3174-12
<b>Kadar Karbon Tetap</b> <i>(Fixed Carbon)</i>	64,51	%, adb	ASTM D3172-13
<b>Kadar Zat yang Mudah Menguap</b> <i>(Volatile Matter)</i>	18,34	%, adb	ASTM D3175-11

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



### 2.4.3. *Green Coke*

Indonesia memiliki banyak sumberdaya alam, salah satunya adalah bahan bakar padat. Bahan bakar padat merupakan sumber energi panas, salah satu jenis bahan bakar padat adalah briket. Briket dengan kualitas baik adalah briket yang memiliki kadar karbon tinggi dan kadar abu rendah, karena dengan kadar karbon tinggi maka energi yang dihasilkan juga tinggi. Bahan yang potensial menjadi briket adalah *green coke*. (Subroto, 2007). Saat ini, *green coke* belum banyak dimanfaatkan dengan maksimal. Dengan kadar karbon dan nilai kalor yg tinggi, *green coke* dapat dimanfaatkan dengan baik. Maka dari itu perlu dikembangkan briket dari *green coke* sebagai alternatif bahan bakar padat agar dapat digunakan sebagai bahan bakar dan menjadi produk yang bermutu tinggi dan bernilai ekonomis (Subroto, 2007).

Variasi perlakuan pembuatan briket *green coke* pada penelitian ini yaitu komposisi campuran antara *green coke* dengan Perekat kanji. Adapun keunggulan dari bahan baku *green coke* adalah nilai kalor yang tinggi dari batubara, lebih mudah digiling atau mudah dalam proses penghalusan dan kandungan abu yang sangat rendah sehingga menghasilkan biaya pengolahan yang lebih murah (Meyer, 1996). Adapun keunggulan perekat kanji adalah menghasilkan briket dengan kuat tekan yang jauh lebih besar, penambahan tepung kanji sedikit berpengaruh pada waktu dan suhu penyalan briket dan Laju pembakaran briket berbinder tepung kanji lebih cepat (Anam, 2000).



**Gambar 2. 6** *Green Coke*



Bahan baku dapat dikarakterisasi melalui pengujian nilai kalor, kadar air, kadar zat mudah menguap, kadar abu dan kadar karbon. Karakteristik *Green Coke* ditampilkan pada Tabel 2.3

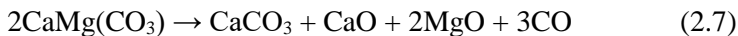
**Tabel 2. 3** Karakteristik Bahan Baku *Green Coke*

Karakteristik	Bahan Baku
<b>Moisture (%)</b>	1,58
<b>Kadar Volatile matter (%)</b>	18,29
<b>Kadar Abu (%)</b>	7,39
<b>Kadar Fixed Carbon (%)</b>	72,84

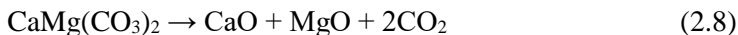
## 2.5. Dolomit

Dolomit merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. Dolomit merupakan salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui. Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk akibat proses pembatuan atau litifikasi dari hasil proses pelapukan dan erosi yang kemudian tertransportasi dan seterusnya terendapkan. Senyawa yang ada pada dolomit yaitu gabungan antara kalsium karbonat dengan magnesium karbonat [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ]. (Noviyanti dkk, 2015).

Dolomit akan terdekomposisi termal secara langsung membentuk  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CO}_2$  disertai dengan pembentukan  $\text{MgO}$  pada temperature antara  $700^\circ\text{C}$  -  $750^\circ\text{C}$ . Dimana reaksi yang terjadi yaitu :



Pada temperature yang lebih tinggi,  $\text{CaCO}_3$  akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Reaksi dekomposisi dolomit dan  $\text{CaCO}_3$  akan berlangsung secara spontan yang terdiri dari 2 reaksi, yaitu :




---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Reaksi tersebut akan berlangsung secara spontan pada temperatur 780 – 785 °C serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur 950 – 960 °C (Philip Engler, dkk. 1988).

Dolomit berperan sebagai penyedia gas CO<sub>2</sub> dalam proses reduksi. Gas CO<sub>2</sub> ini berguna untuk reaksi pembentukan gas CO (Reaksi Boduard). Gas CO<sub>2</sub> diperoleh dari reaksi dekomposisi dolomit dan CaCO<sub>3</sub>. Selain itu dolomit juga berperan sebagai *flux agent* atau pengikat pengotor. (Spencer. 1985).

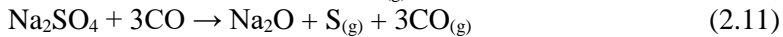
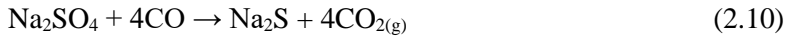


**Gambar 2. 7** Dolomit

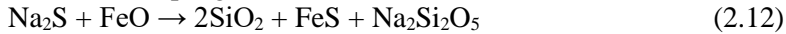
## 2.6. *Selective Agent*

*Selective agent* atau biasa juga disebut dengan zat aditif merupakan zat yang biasanya ditambahkan pada proses pengolahan bijih nikel laterit yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi yang terjadi pada proses reduksi bijih nikel laterit. Penambahan zat aditif ini dilakukan sebelum terjadinya proses reduksi, tepatnya pada saat pencampuran bahan. Penelitian terkait penggunaan *selective agent* (zat aditif) seperti penambahan sulfur saat reduksi bijih nikel laterit dalam usaha peningkatan jumlah perolehan nikel dalam feronikel telah dilakukan di antaranya melakukan reduksi selektif nikel laterit dengan penambahan natrium sulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan kalsium sulfat (CaSO<sub>4</sub>) yaitu oleh Jiang et.al, Li et.al., Zhu et.al

Reaksi dekomposisi termal dan reduksi natrium sulfat:



Reaksi pengikatan Fe membentuk FeS:



Natrium Sulfida ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) juga akan meningkatkan ukuran partikel ferronikel yang terbentuk. Penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bertujuan untuk meningkatkan selektifitas Ni dengan menurunkan kadar komponen yang tidak diinginkan.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  akan terurai menjadi natrium yang dapat mengikat silikat dan Fe bereaksi dengan S membentuk FeS. Natrium silikat dan FeS merupakan komponen bukan magnet yang terikat menjadi *tailing* pada pemisahan magnetik sehingga selektivitas Ni pada konsentrat meningkat. Selain itu adanya fasa FeS dan natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah akan melarutkan partikel – partikel logam dan mempercepat proses perpindahan massa partikel logam sehingga memacu pertumbuhan partikel logam (Li, 2012). Disamping itu, penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  juga menyebabkan kinetika reduksi bijih nikel laterit berlangsung lebih baik sehingga pelepasan besi dan nikel dari mineralnya menjadi kondusif (Jie Lu, 2013).



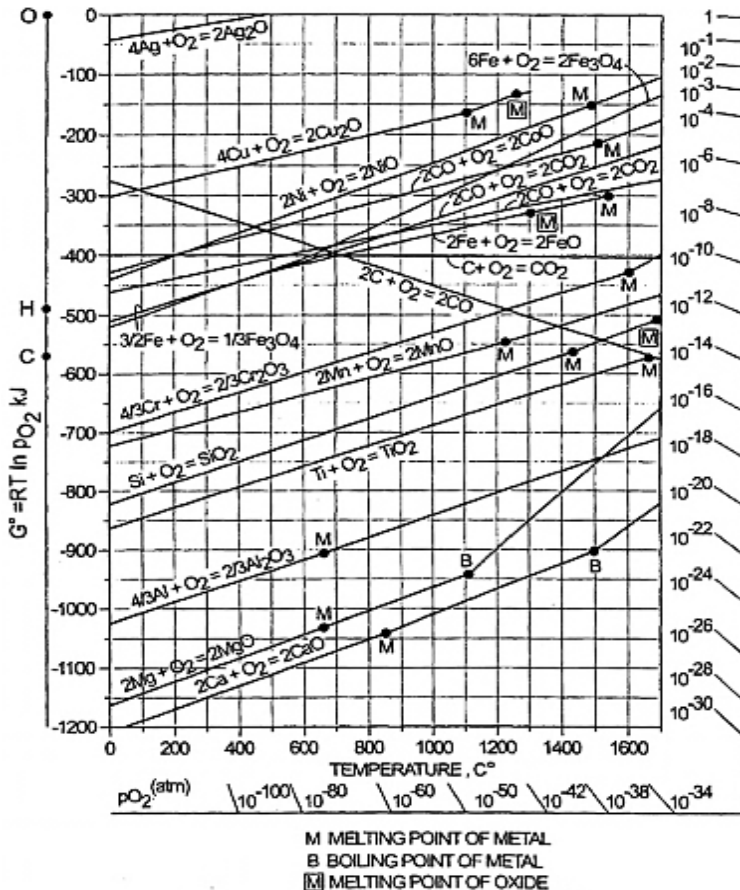
**Gambar 2. 8** Natrium Sulfat





## 2.7. Termodinamika Nikel Laterit Limonitik

Diagram Ellingham merupakan diagram yang berisi energi bebas suatu reaksi yang diplot ke dalam suatu grafik dengan parameter energi bebas terhadap temperatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



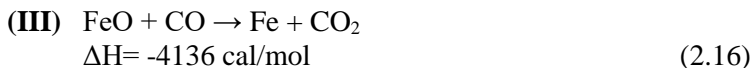
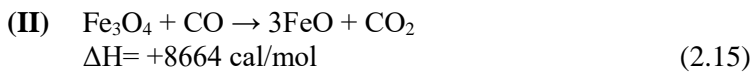
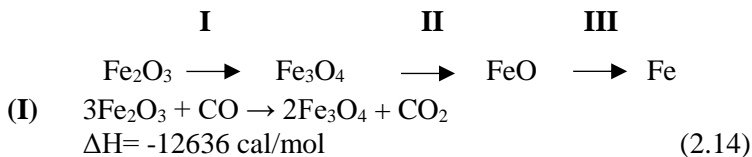
Gambar 2. 9 Diagram Ellingham (Ross, 1980)



Pada diagram diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling atas. Besar nilai energi bebas ( $\Delta G^\circ$ ) untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai  $\Delta G^\circ$  suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida.

Dari diagram Ellingham pada Gambar 2.9 dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar terjadi reaksi tersebut terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentukan CO. Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki. Namun tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada temperatur tertentu.

Dalam proses berdasarkan batu bara, gas reduktor utama adalah CO. Tiga reaksi reduksi dan entalpi reaksi pada 25 °C dari mineral besi dalam laterit dapat dituliskan sebagai berikut:



Entalpi reaksi pada 25 °C dapat diketahui dari entalpi pembentukan. Reaksi (2.14) dan (2.16), mempunyai entalpi negatif, yang berarti reaksi eksotermik dan reaksi (2.15)

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

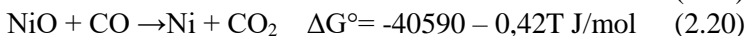
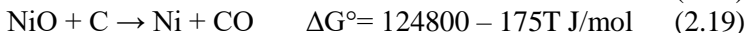
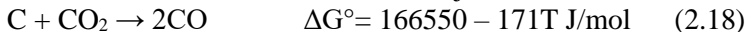


mempunyai entalpi positif, berarti reaksi endotermik dan membutuhkan energi. Karena wustit metastabil di bawah 570°C, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat direduksi dalam satu langkah menjadi besi metalik, tanpa melewati reaksi wustit.

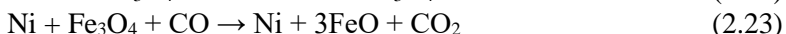
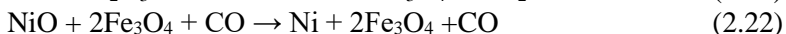


Dilihat dari diagram Ellingham, reaksi reduksi NiO oleh CO mulai terjadi pada temperatur 440 °C. Sedangkan reaksi reduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan gas CO mterjadi pada tempetarur 650 °C. Namun kedua reaksi reduksi ini belum akan terjadi pada temperatur tersebut oleh gas CO karena reaksi Boudouard baru terjadi pada temperatur diatas 900 °C.

Reaksi utama dari nikel oksida menjadi nikel metalik adalah:



Faktanya, ore nikel laterit merupakan ore yang kompleks, termsuk di dalamnya berupa senyawa NiO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, dll, sehingga reaksi-reaksi lain pun secara simultan terjadi pada proses reduksi, Berdasarkan reduksi dari trevorite, NiO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, yang lebih mudah terjadi reduksi nikel oksida menjadi nikel metalik dimulai dengan:



Reduksi selanjutnya dari wustit menjadi besi metalik terjadi:

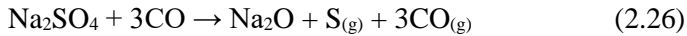


Berdasarkan kondisi percobaan, proses reduksi dari (2.23) dan (2.24) akan sulit terjadi (Olli, 1995).

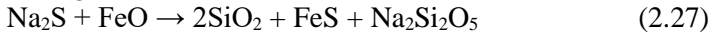
Menurut Jiang (2013) mekanisme *selective reduction* dari nikel terjadi sesuai reaksi berikut:

- Terjadi dekomposisi termal dan reduksi Natrium sulfat

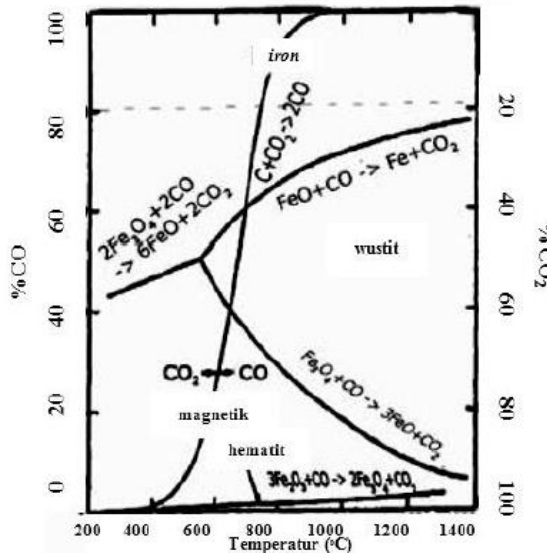




- Pengikatan Fe membentuk FeS



Proses reduksi langsung menggunakan kesetimbangan antara besi hematite, magnetit, wustit, karbonmonoksida, karbondioksida, serta karbon padat pada tekanan 1 atm seperti ditunjukkan dalam diagram *Bauer Glassner* dan *Boudouard* pada gambar 2.10. Kesetimbangan tersebut merupakan dasar dilakukan proses reduksi langsung dengan menggunakan karbon padat dari batubara.



**Gambar 2. 10** Diagram Reaksi Boudouard

Dalam diagram tersebut terdapat kesetimbangan besi oksida dengan campuran gas CO/CO<sub>2</sub> antara lain :

- Garis kesetimbangan Boudouard :  $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$
- Garis kesetimbangan :  $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



- Garis kesetimbangan :  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}_2$
- Garis kesetimbangan :  $\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$

Jika dilihat dari garis kesetimbangan Boudouard, pada temperatur 1000°C terdapat 100% gas CO. Apabila temperature diturunkan maka kesetimbangan tersebut tidak tercapai sehingga terjadi penguraian dari gas CO menjadi CO<sub>2</sub> dan C. Sehingga jumlah gas CO (preduktor) akan berkurang. Pada daerah disebelah kiri garis kesetimbangan boudouard maka gas CO<sub>2</sub> akan lebih stabil sehingga gas CO yang ada akan terurai menjadi CO<sub>2</sub>. Pada daerah di sebelah kanan garis kesetimbangan boudouard gas CO lebih stabil sehingga gas CO<sub>2</sub> akan mengalami reaksi boudouard membentuk gas CO. Hal tersebut merupakan contoh dari prinsip Le Chatelier, reaksi boudouard merupakan reaksi yang endotermik sehingga membutuhkan temperatur tinggi untuk dapat berjalan.

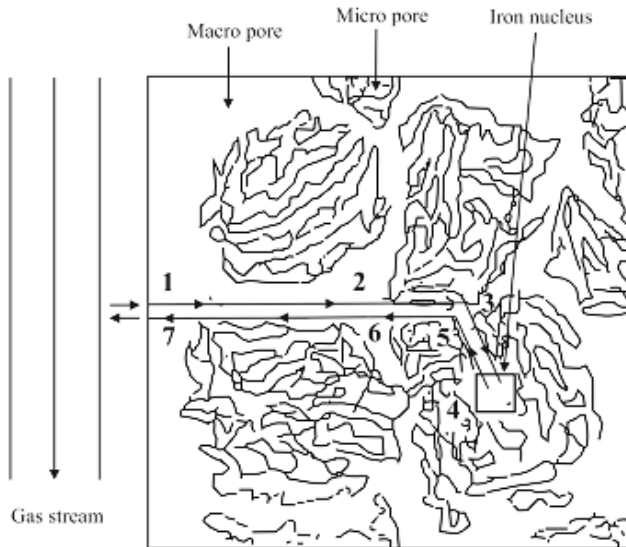
Dari Diagram Bauer Glassner dan Boudouard, senyawa yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh perbandingan antara CO/CO<sub>2</sub> dan juga temperature operasi. Misal pada temperatur 700°C dengan perbandingan CO/CO<sub>2</sub> adalah 60:40 maka senyawa yang paling stabil adalah wustit. Magnetit akan tereduksi menjadi wustit, sedangkan Fe akan mengalami oksidasi menjadi wustit. Hal penting yang dapat disimpulkan dari kesetimbangan Boudouard antara garis kesetimbangan wustit/Fe dan garis kesetimbangan boudouard berpotongan pada temperatur 700°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi wustit Fe adalah 700°C. Antara garis kesetimbangan Magnetit/Wustit dan garis kesetimbangan boudouard berpotongan pada temperatur 650°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperature minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi magnetit menjadi wustit adalah 650°C. Temperatur minimum diatas pada tekanan 1 atm. Sangat tidak mungkin reaksi dapat berjalan dibawah temperatur minimum karena karbonmonoksida terurai menjadi karbondioksida. Proses reduksi sebaiknya dilakukan pada temperatur di atas 900°C karena pada temperatur tersebut proses pembentukan gas CO akan stabil. Kestabilan CO akan menurun seiring dengan menurunnya temperatur.



## 2.8. Kinetika Reduksi Ore

Kinetika reaksi reduksi bijih mineral adalah kecepatan mineral oksida untuk bertransformasi menjadi logam metalik dengan melepaskan oksigen. Kecepatan reaksi reduksi bijih mineral ditentukan oleh tinggi rendahnya kemampuan bijih mineral tersebut untuk direduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran partikel, bobot jenis, *porosity*, struktur kristal, serta komposisi kimia (Ross, 1980). Kinetika reduksi menggunakan reduktor batu bara dipengaruhi oleh kombinasi beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas, perpindahan massa oleh konveksi, difusi fase gas, serta reaksi kimia dengan gasifikasi karbon. El-Geassy (2007), menjelaskan bahwa ada banyak faktor yang mempengaruhi reduksi mineral oksida seperti komposisi bahan baku, basisitas, komposisi gas, dan temperatur reduksi. Pengaruh komposisi gas terjadi pada perubahan volume dari mineral oksida pada temperatur 800-100°C.

Bijih mineral dapat dianggap tersusun atas butiran-butiran. Celah diantara butiran-butiran dikenal sebagai pori makro dan pori yang lebih kecil dikenal sebagai pori mikro. Mekanisme reduksi ore mineral bertahap melalui langkah-langkah sebagai berikut dan diilustrasikan Gambar 2.11 (Bogdandy, Von and Engell 1971).



**Gambar 2. 11** Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori (Bogdandy, 1971).

Dimana:

1. Difusi gas reduktor melewati lapisan batas butir.
2. Difusi gas reduktor melalui pori-pori makro pada bijih besi.
3. Difusi gas reduktor melalui pori-pori mikro menuju posisi reaksi.
4. Reaksi pada batas fasa.
5. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori mikro.
6. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori makro.

Dari semua mekanisme reduksi, langkah-langkah yang mendasar dalam reduksi bijih mineral, diantaranya (Takuda, Yoshikoshi, & Ohtano, 1973) :

1. Perpindahan panas dalam reaksi antarmuka.
2. Perpindahan massa antara gas dan permukaan padat oksida, yang meliputi difusi gas reduktor kedalam permukaan solid atau gas hasil reduksi keluar dari permukaan.



3. Perpindahan massa antara permukaan oksida dan reaksi antarmuka internal melalui lapisan hasil reduksi, yang dipengaruhi oleh:
  - Difusi solid melalui oksida rendah
  - Difusi solid melalui lapisan logam metal
  - Difusi antar partikel gas reduktor atau gas hasil reduksi.
4. Reaksi kimia penghilangan oksigen pada permukaan antarmuka.
5. Pengintian dan pertumbuhan fasa logam metalik.

## 2.9. Kajian Penelitian Sebelumnya

Reza Andika telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi basisitas dan reduktor terhadap produk NPI (*Nickel Pig iron*) menggunakan bijih nikel laterit Indonesia. Variasi basisitas yang digunakan yaitu 0,85, 1 dan 1,4, sedangkan untuk variasi reduktor adalah kokas, batu bara dan arang batok. Sampel dianalisis menggunakan (*X-Ray Fluoresensi*) XRF, *Optical Emission Spectroscopy* (OES), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan (*Scanning Electron Microscopy*) SEM. Hasil OES menunjukkan bahwa nilai Ni tertinggi diperoleh pada basisitas 1 sedangkan nilai Fe terbaik yang dihasilkan adalah pada reduktor kokas 5,6 kg. Hasil XRD menunjukkan bahwa puncak tertinggi yang dihasilkan pada basisitas 0,85 dan 1,4 didominasi oleh Fe dan semakin tinggi nilai basisitas yang digunakan menghasilkan fasa FeNi terdiri dari dua puncak, sedangkan pada basisitas 0,85 fasa FeNi hanya terdiri dari satu puncak.

Zulfiadi Zulhan dan Ian Gibranata melakukan penelitian tentang proses reduksi langsung kadar rendah nikel laterit untuk menghasilkan ferronickel menggunakan muffle furnace dengan metode isothermal-gradient temperatur. Metode isothermal-gradient temperature dapat diaplikasikan untuk mereduksi limonit nikel lateritik menghasilkan nugget yang terpisah dari slag pada temperatur 1400°C. Jumlah penambahan 10% berat batubara cocok untuk menghasilkan nugget dengan ukuran butir 1-2 mm. Bila jumlah penambahan batubara meningkat menjadi 20% berat dan

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA





30% berat, diperoleh nugget dengan ukuran lebih kecil (di bawah 0,2 mm). Berdasarkan pengamatan makroskopis, nugget tersebut muncul pada temperatur 1380°C. Namun, di pengamatan mikroskopis dengan analisis SEM, logam sudah diamati pada 1333°C dan mulai bergabung membentuk nugget lebih besar seiring peningkatan temperatur. Laju pemanasan mempengaruhi recovery nikel dan besi. Mengurangi laju pemanasan akan menghasilkan peningkatan recovery feronikel. Recovery nikel dan besi akan dipengaruhi oleh waktu tahan pada temperatur akhir tertentu. Peningkatan waktu tahan akan meningkatkan recovery nikel dan besi. Recovery tertinggi dicapai pada laju pemanasan 6,67°C/menit dengan waktu tahan selama 60 menit pada 1400°C.

Rudi Subagja, Agus budi dan Wahyu Mayang Sari telah melakukan penelitian tentang peningkatan kadar nikel dalam laterit jenis limonit dengan cara peletasi, pemanggangan reduksi dan pemisahan magnet campuran bijih, batu bara dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Dari studi peningkatan kadar nikel dalam bijih nikel laterit jenis limonit dengan membuat pelet dari campuran bijih nikel laterit jenis limonit, batubara dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dapat disimpulkan kadar nikel dalam bijih nikel laterit kadar rendah jenis limonit dapat ditingkatkan dengan cara membuat pelet dari campuran bijih nikel laterit kadar rendah, bahan reduktor batubara dan bahan aditif  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , kemudian dilanjutkan dengan proses pemanggangan reduksi pelet dan melewati kalsin yang dihasilkan dari proses pemanggangan reduksi kedalam alat pemisahan magnet sehingga diperoleh konsentrat nikel. Kadar nikel dalam konsentrat nikel dipengaruhi oleh temperatur pemanggangan reduksi, jumlah batubara yang ditambahkan kedalam campuran pelet nikel laterit, dan jumlah  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang ditambahkan kedalam campuran pelet nikel laterit.

Guan-Jhou Chen, dkk (2014) melakukan penelitian tentang efek dari temperatur reduksi pada reduksi karbotermik ore laterit dengan menggunakan *bio-coal*. Limonit dan Saprolit laterit direduksi secara karbotermik proses pada berbagai temperatur. Dalam reduktan, *biocoal* telah menjadi reduktan, kandungan nikel limonit meningkat dari 1,18 (sebelum reduksi) menjadi 1,64%



(setelah reduksi) dan saprolit meningkat dari 3,43% menjadi 4,93%. Fase utama limonit sebelum reduksi adalah  $\text{Fe}_{1,833}(\text{OH})_{0,5}\text{O}_{2,5}$  dan  $\text{Fe}_2\text{SiO}_2$ , dan setelah reduksi adalah Fe. Fase utama dari saprolit sebelum reduksi adalah Fe ( $\text{CO}_3$ ),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ , dan  $\text{Al}_3\text{S}_4$ , dan reduksi tersebut adalah Fe,  $\text{Fe}_{0,64}\text{Ni}_{0,36}$ , dan  $\alpha\text{-Fe}_{10,08}\text{Ni}$ . Lapisan luar pelet membentuk daerah padat dan inti pelet memiliki daerah celah/rongga saat awal reaksi reduksi. Bila pelet menghasilkan daerah dua fasa pada  $1200^\circ\text{C}$ , itu secara signifikan menyusut 30%. Akhirnya, pelet membentuk fasa paduan besi-nikel dan fasa besi dan fasa oksida pemisahan.

Yan-Jun Li dkk (2013) melakukan penelitian tentang mekanisme reduksi kadar rendah ore laterit menggunakan batu bara dengan variasi temperature reduksi. Mekanisme reduksi dilakukan dalam muffle furnace dengan laju pemanasan  $100^\circ\text{C}/\text{menit}$  hingga  $200^\circ\text{C}/\text{menit}$  dengan massa ore sebesar 50 gram, dengan ratio C/O sebesar 2,5. Selanjutnya akan dilakukan pengujian SEM dan EDX pada sampel hasil reduksi. Temperatur reduksi dan waktu reduksi secara signifikan mempengaruhi perilaku pertumbuhan partikel Fe-Ni. Fase logam Fe-Ni diatur dalam matriks sebagai partikel berbentuk bola. Partikel partikel yang susah direduksi dari bijih nikel laterit berubah menjadi partikel logam dan matriks slag selama reduksi. Selama reduksi, nikel sebagian besar direduksi dengan CO daripada C. ditemukan adanya hubungan antara proses reduksi dengan sruktur kristal dan sifat kimia dari ore nikel. Reduksi terjadi karena disosiasi senyawa kompleks dan pengurangan oksida sederhana. Logam besi dan nikel secara bertahap berkumpul dan membentuk partikel yang besar.

Man Jiang dkk (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebagai agen selektivitas ore nikel laterit pada mekanisme *roasting*. Variasi jumlah  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dari 0-10 wt% dan 2% soft coal (bituminous) dipanggang pada temperature  $1200^\circ\text{C}$  dengan waktu tahan 50 menit. Feronikel nikel kadar tinggi dihasilkan dari bijih laterit dengan menggunakan proses pemisahan magnetik basah-selektif reduksi, dengan penambahan natrium

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Konsentrat feronikel yang menguji Ni 9,87%, dengan *recovery* nikel 90,90% dapat diperoleh, bila bijih laterit dikurangi pada  $1200^\circ\text{C}$  selama 50 menit dengan penambahan 10% berat  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan 2 wt.% Batubara. Berdasarkan hasil Difraksi Sinar-X, *Scanning Electron Microscopy*, dan analisis spektroskopi sinar-X Dispersive Energi, dekomposisi termal dan reaksi reduksi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dilakukan. *Sodium oxide* dari dekomposisi termal  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  direaksikan dengan mineral silikat untuk membentuk *nepheline*. Pembentukan fase cair mempercepat laju migrasi partikel logam dan menekan reduksi mineral ferrous di atmosfer reduksi lemah. Sulfur bereaksi dengan besi metalik untuk membentuk *troilite*, sehingga memudahkan agregasi partikel feronikel untuk membentuk partikel yang lebih besar.

Reza Miftahul (2009), telah melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan 10,13, 15 dan 20% reduktor antrasit dan arang batok kelapa terhadap reaksi karbotermik bijih nikel. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan kadar karbon terhadap perolehan unsur nikel yang terbentuk (nilai % *recovery* Ni) setelah dilakukan reaksi karbotermik, serta mengetahui sumber reduktor yang tepat antara grafit, antrasit dan arang batok kelapa sehingga dihasilkan *ferronickel* yang optimum. Temperatur pada penelitian ini dilakukan pada  $1250^\circ\text{C}$ . Hasil perhitungan % *recovery* menunjukkan kecenderungan % *recovery* Ni yang meningkat untuk penambahan reduktor (optimum pada penambahan 20%) yang semakin meningkat pula pada penambahan antrasit dan arang batok kelapa, sedangkan untuk grafit akan mencapai % *recovery* optimum pada penambahan 13% lalu % *recovery* Ni mengalami penurunan.

**Tabel 2. 4** Kajian Penelitian Sebelumnya

No	Tahun	Peneliti	Metode	HASIL
1	2016	Zulfiadi Zulhan dan Ian Gibranata (ITB)	Reduksi Langsung low grade ore nikel laterit menggunakan dengan metode isothermal gradient temperature	Ore laterit dicampur batubara dibentuk menjadi pellet , tanpa fluks , proses reduksi dengan batubara. Recovery Ni 53%
2	2016	Rudi Subagja, dkk (Pusat Penelitian Metalurgi dan material LIPI)	Peningkatan Kadar Nikel dalam laterit dengan cara peletasi, pemanggangan reduksi,dan pemisahan magnet campuran bijih, baru bara, dan $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Komposisi $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 10%, batubara 10% dan waktu reduksi 1 jam ditetapkan sebagai variabel tetap dan variabel berubah adalah temperatur pemanggangan reduksi yang dilakukan pada rentang temperatur 800 °C sampai dengan 1100 °C	Penambahan $\text{Na}_2\text{SO}_4$ bertujuan untuk meningkatkan selektifitas Ni Dengan menurunkan kadar komponen yang tidak diinginkan. $\text{Na}_2\text{SO}_4$ akan terurai, natrium dapat mengikat silikat dan Fe bereaksi dengan S membentuk FeS. Natrium silikat dan FeS merupakan komponen bukan magnet yang terikut menjadi <i>tailing</i> pada pemisahan magnetik, sehingga selektivitas Ni pada konsentrat meningkat. Recovery Ni 94,97%
3	2013	Man jiang,dkk	Pengaruh penambahan $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sebagai agen selektivitas ore nikel laterit pada mekanisme <i>roasting</i> . Variasi jumlah $\text{Na}_2\text{SO}_4$ dari 0-10 wt% dan 2% soft coal (bituminous) dipanggang pada temperature 1200°C	Penambahan sebesar 7% $\text{Na}_2\text{SO}_4$ memberikan hasil optimum terhadap peningkatan kadar nikel. Recovery Ni 84,04%.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



			dengan waktu tahan 50 menit.	
4	2009	Reza Miftahul	Pengaruh penambahan 10,13, 15 dan 20% reduktor antrasit dan arang batok kelapa terhadap reaksi karbotermik bijih nikel pada temperatur 1250°C	Penambahan 20% antrasit dan arang memberikan hasil yang optimum terhadap peningkatan kadar Ni. Recovery Ni 79,83%.
5	2013	Yan-Jun Li dkk	<i>Coal-based reduction mechanism of low-grade laterite ore</i>	Temperatur reduksi dan waktu tahan secara signifikan mempengaruhi proses reduksi dan reduksi laterit dilakukan oleh gas CO.
6	2009	Ghuan-Jou Chen dkk	Penelitian tentang effect dari temperatur reduksi pada reduksi carbothermic ore laterit dengan menggunakan bio-coal	Bila pelet menghasilkan daerah dua fasa pada 1200 ° C, itu secara signifikan menyusut 30%.
7	2009	Agus Budi prasetyo	Peningkatan kadar Ni dan Fe dari Bijih Nikel laterit kadar rendah jenis saprolit untuk bahan baku NPI. Untuk percobaan digunakan variabel temperatur, waktu dan persen reduktor.	Pada konsentrat terjadi peningkatan kadar Ni menjadi 1,97 % dan kadar Fe menjadi 19,10 %. Sedangkan pada tailing terjadi penurunan kadar Ni menjadi 1,02 % dan kadar Fe naik menjadi 11,20%.

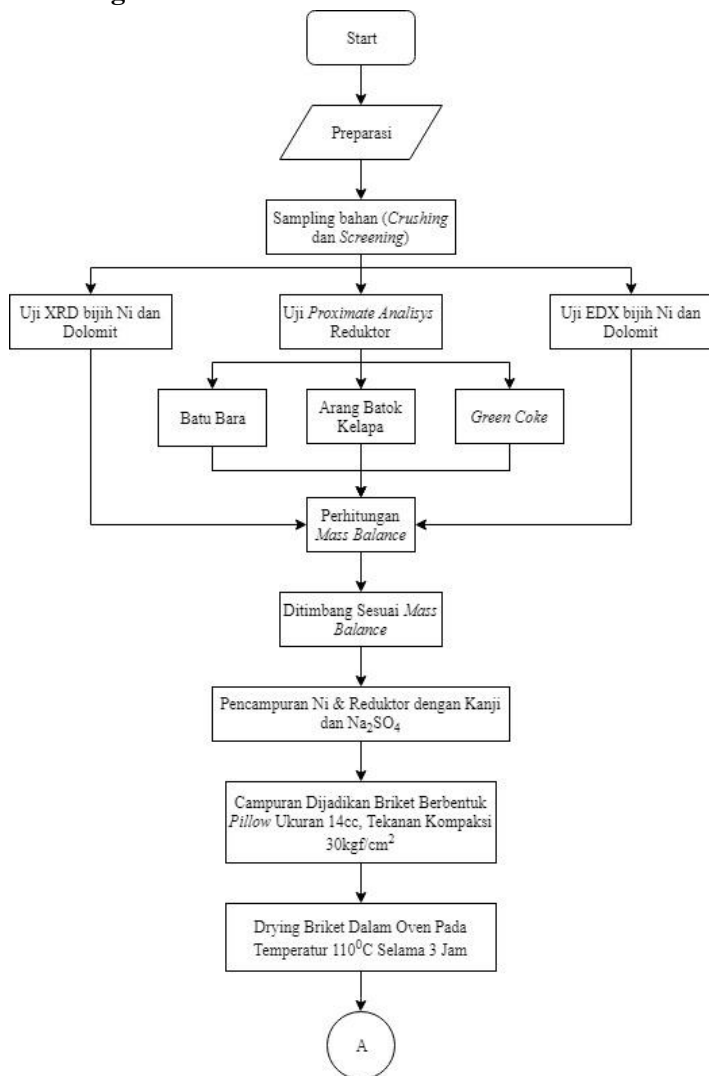


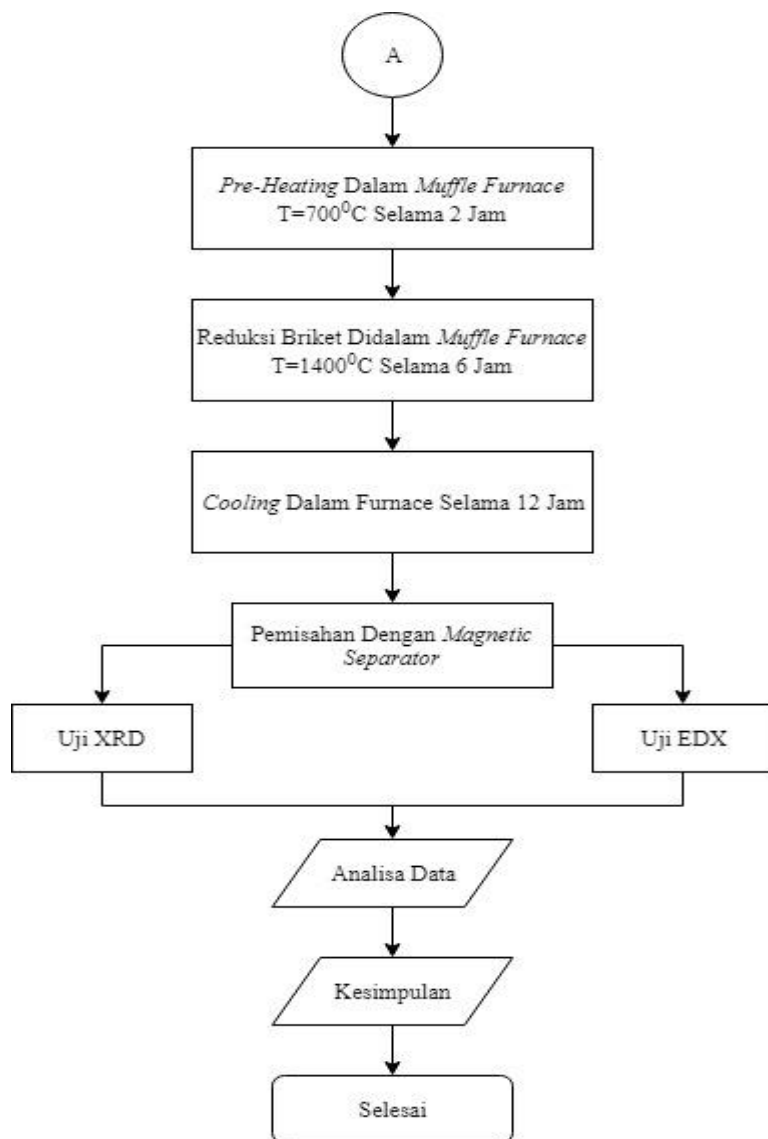
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian





### 3.2. Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

#### 3.2.1. Bijih Nikel Laterit

Bijih nikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih nikel laterit berupa limonit, yang berasal dari daerah Sulawesi Tenggara. Bijih nikel dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 *mesh*. Bijih nikel laterit yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3. 2** Bijih Nikel Laterit Limonitik

#### 3.2.2. Batu Bara

Batu bara yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu bara dengan jenis *sub-bituminus* dari Benuang, Kalimantan Selatan. Batu bara ini juga dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 *mesh*. Batu bara yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Batu Bara

### **3.2.3. Arang Batok Kelapa**

Arang yang digunakan adalah arang batok kelapa. Batok kelapa yang akan dijadikan arang harus kelapa yang sudah tua, dikarenakan lebih padat dan kandungan sedikit dibandingkan dengan kelapa yang masih muda (Supriyatna dkk, 2012). Arang batok kelapa kemudian dihancurkan hingga ukuran 50 mesh.



**Gambar 3.4** Arang Batok Kelapa

### **3.2.4. Green Coke**

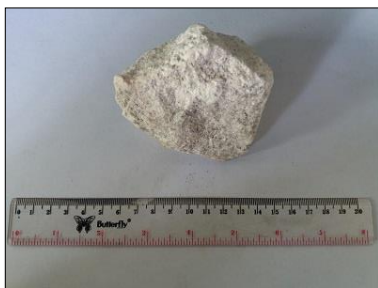
*Green coke* digunakan sebagai reduktor. *Green coke* dihancurkan hingga ukuran 50 mesh.



**Gambar 3.5** *Green Coke*

### 3.2.5. Batu Kapur (Dolomite)

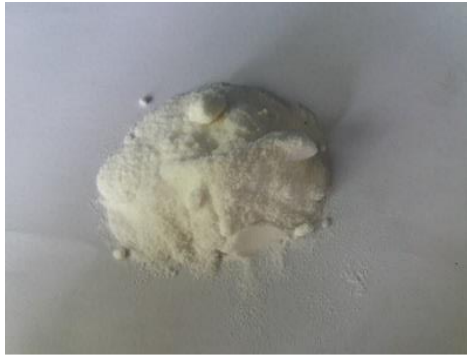
Batu Kapur (*Dolomite*) yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 *mesh*. Batu kapur yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Batu Kapur (Dolomite)

### 3.2.6. Natrium Sulfat

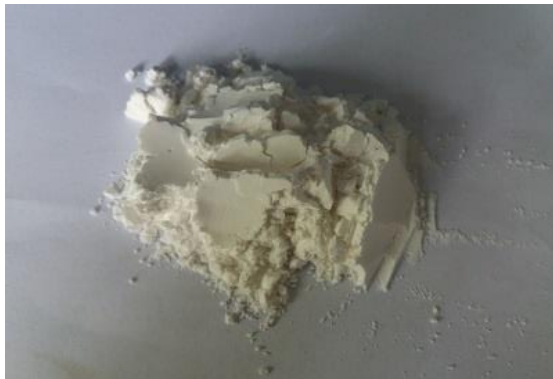
Natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) digunakan dalam penelitian ini sebagai agen *selective reduction* pada bijih nikel laterit limonitik. Natrium sulfat yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Natrium Sulfat

### 3.2.7. Kanji

Kanji digunakan dalam penelitian ini sebagai pengikat (*binder*) dalam pembuatan briket. Tepung tapioka yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Tepung Tapioka

### 3.2.8. Air

Air digunakan dalam pembuatan briket. Air yang digunakan yaitu akuades.



### 3.3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

#### Alat Kompaksi

Alat kompaksi berfungsi untuk membentuk campuran bahan menjadi briket yang berbentuk bantal (*pillow*). Alat kompaksi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.9. Briket dibuat dengan menggunakan bahan baku berupa bijih nikel laterit limonitik, batubara, fluks, natrium sulfat, dan tepung tapioka. Volume hasil briket yaitu  $14 \text{ cm}^3$  dan dimensi briket adalah sebagai berikut :

Panjang : 4,3 cm  
Lebar : 3,4 cm  
Tebal : 1,65 cm



Gambar 3. 9 Alat Kompaksi

#### 3.3.1. Muffle Furnace

Proses reduksi dilakukan dengan menggunakan *muffle furnace*. *Muffle Furnace* yang digunakan ditunjukkan pada



Gambar 3.10. Dimensi *muffle furnace* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Panjang	: 48 cm
Lebar	: 85 cm
Tinggi	: 64 cm
Tebal batu tahan api	: 7 cm



**Gambar 3. 10** *Muffle Furnace*

### 3.3.2. Crucible

Di dalam penelitian ini, *crucible* digunakan sebagai media tempat terjadinya reduksi briket nikel laterit limonitik yang tertimbun di dalam *bed* batu bara. *Crucible* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.11. Dimensi *crucible* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Diameter atas	: 13 cm
Diameter bawah	: 10 cm
Tinggi	: 17 cm
Tebal	: 2,5 cm



**Gambar 3. 11** *Crucible*

Timbangan digital digunakan untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan campuran untuk pembuatan briket dan pembuatan *bed* batu bara. Timbangan digital yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.12.



**Gambar 3. 12** Timbangan Digital



### 3.3.3. Ayakan

Ayakan digunakan untuk mendapatkan ukuran butir dari bahan baku yang digunakan sebagai bahan campuran pembuatan briket. Ayakan yang digunakan berukuran 50 *mesh*. Ayakan yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.13.



**Gambar 3. 13** Ayakan

### 3.3.4. *Thermocouple*

*Thermocouple* digunakan untuk mengetahui temperatur di dalam *muffle furnace* saat proses aglomerasi, ditunjukkan pada gambar 3.14.



**Gambar 3. 14** *Thermocouple*





### 3.3.5. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan briket hasil kompaksi dan menghilangkan *moisture content*. Oven yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.15.



**Gambar 3. 15** Oven

## 3.4. Pelaksanaan Penelitian

### 3.4.1. Persiapan Material

Langkah – langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu :

1. Bijih nikel laterit limonitik, reduktor, dan dolomit ditumbuk dan dilakukan pengayakan dengan ukuran sebesar 50 mesh.
2. Bijih nikel laterit limonitik dan dolomit dilakukan pengujian EDX dan XRD.
3. Reduktor dilakukan pengujian *proximate analysis*.
4. Pembuatan briket nikel laterit limonitik.
  - a. Bijih nikel laterit limonitik, reduktor dan natrium sulfat yang telah dilakukan pengayakan, kemudian ditimbang dengan menggunakan timbangan digital sesuai dengan perbandingan komposisi yang ada.
  - b. Bijih nikel laterit limonitik hasil penimbangan, kemudian dicampurkan dengan reduktor dan natrium sulfat.

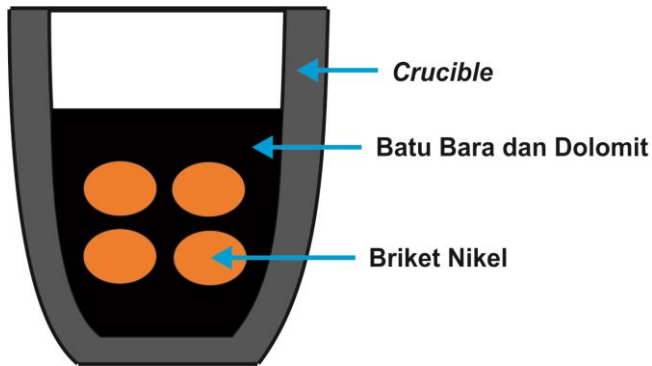


- c. Tepung tapioka (kanji) dicampurkan dengan air sebanyak 100 mL dan dipanaskan dalam air mendidih hingga sedikit mengental.
  - d. Campuran dari bijih nikel laterit limonitik, batu bara, dan natrium sulfat ditambahkan dengan tepung tapioka yang telah sedikit mengental dan diaduk hingga merata.
  - e. Campuran dibentuk menjadi briket *pillow* dengan alat kompaksi dengan tekanan 30 kgf/cm<sup>2</sup>. Dalam satu kali proses aglomerasi dibutuhkan 4 buah briket.
  - f. Briket hasil kompaksi dikeringkan dengan menggunakan *oven* terlebih dahulu selama 3 jam pada temperatur 110 °C.
5. Pembuatan campuran *bed* batu bara. Batu bara dan batu kapur yang telah diayak, dicampur hingga homogen sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan.

#### 3.4.2. Proses Reduksi Karbotermik

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses reduksi karbotermik yaitu :

1. Briket yang telah dikeringkan, dimasukkan ke dalam *crucible* yang di bagian dasarnya telah dimasukkan sejumlah campuran batu bara dan dolomit sebagai lapisan *bed* bagian dasar.
2. Briket tersebut ditutup kembali menggunakan campuran batu bara dan dolomit yang sama membentuk lapisan *bed* bagian atas, dan seterusnya hingga membentuk tumpukan batu bara dan dolomit dengan briket untuk dilakukan proses reduksi di dalam Muffle Furnace.
3. Pemanasan awal di Muffle Furnace dilakukan hingga temperatur 700°C dengan heat rate 10°C/menit, kemudian dilakukan holding pada temperatur 700°C selama 2 jam.
4. Pemanasan selanjutnya dilakukan hingga temperatur 1400°C dengan heat rate 10°C/menit, kemudian dilakukan holding pada temperatur 1400°C selama 6 jam.



**Gambar 3. 16** Posisi Briket dalam *Crucible*

5. Briket hasil reduksi didinginkan di dalam *Muffle Furnace* hingga temperatur kamar.
6. Setelah proses pendinginan selesai, setiap sampel dikeluarkan dari *Muffle Furnace*.
7. Briket hasil reduksi selanjutnya akan dilakukan proses pengujian XRD dan EDX.

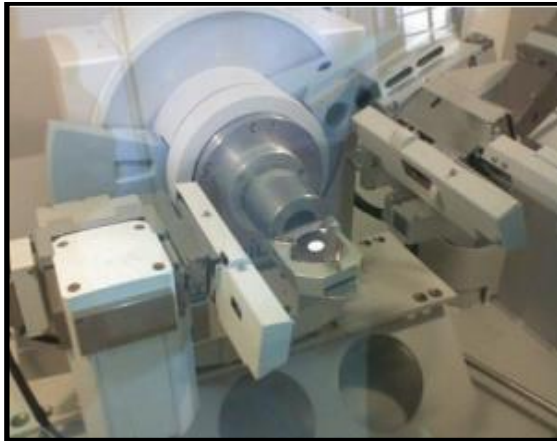
### **3.4.3. Proses Pengujian Sampel**

#### **1. X-Ray Diffraction (XRD)**

XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif yang terdapat pada bahan baku yang digunakan. Dalam pengujian XRD sampel yang akan diuji sebelumnya harus sudah dihancurkan terlebih dahulu hingga berukuran 200 mesh. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV hingga 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-1} - 10$  nm, berfrekuensi 1017 – 1020 Hz dan memiliki energi  $10^3 - 10^6$  eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan



ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia, dan keadaan lain yang memiliki orde sama. Alat uji XRD yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.17. Preparasi sampel bahan limonit, dolomit, dan produk hasil reduksi. Semua bahan dijadikan serbuk ditumbuk dan diayak hingga 50 mesh bertujuan agar partikel - partikel pada bahan menjadi homogen. Kemudian dilakukan uji karakteristik XRD untuk di dapat analisis identifikasi fasa, struktur kristal dan senyawa secara kualitatif.



**Gambar 3. 17** XRD PAN Analytica

## **2. *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)***

*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* atau EDX adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa elemen atau karakterisasi kimia dari suatu sampel. Prinsip kerja dari alat ini adalah metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan X-Ray. Energi tiap-tiap photon X-Ray menunjukkan karakteristik masing – masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDX, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak-puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi. Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik energi (KeV)

---

## **BAB III METODE PENELITIAN**



dengan counts. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur – unsur apa saja yang terkandung di dalam suatu sampel. Serta dengan pengujian EDX, didapatkan pula persentase dari suatu unsur yang terkandung di dalam suatu sampel. Preparasi sampel bahan limonit, dolomit, dan produk hasil reduksi. Semua bahan dijadikan serbuk ditumbuk dan diayak hingga 50 mesh bertujuan agar partikel - partikel pada bahan menjadi homogen. Kemudian dilakukan uji karakteristik EDX untuk di dapat analisis identifikasi unsur kimia suatu sampel.

### 3. *Proximate Analysis*

Untuk mengetahui kandungan batu bara seperti kadar *moisture*, *volatile matter*, *ash*, dan *fixed carbon* dapat dilakukan pengujian *proximate analysis*. Standar pengujian yang dilakukan yaitu ASTM D 3172-02 (*Fixed Carbon*), ASTM D 3173-02 (*Moisture*), ASTM D 3174-02 (*Ash*), dan ASTM D 3175-02 (*Volatile matter*).

#### a. *Moisture*

Analisa kadar *moisture* dalam batu bara dilakukan dengan metode ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Bahan :

1. Udara kering
2. Pengering, seperti kalsium sulfat anhidrat (0,004 mg/L), silika gel, magnesium perklorat (0,0005 mg/L), dan asam sulfat (0,003 mg/L)

Alat :

1. Oven Pengering

Prosedur :

1. Mengeringkan sampel dalam pengering selama 15 menit hingga 30 menit dan ditimbang. Mengambil sampel seberat 1 g dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
2. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan ( $104^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ ). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka



oven dan dinginkan dengan pengering. Timbang segera kapsul bila telah mencapai temperatur ruangan.

3. Menghitung hasil analisa.

Perhitungan :

$$\text{Moisture, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.1)$$

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

**b. Volatile matter**

Analisa kadar *volatile matter* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3175-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Alat :

1. Krusibel platina dengan tutup, untuk batu bara berkapasitas 10 – 20 mL, diameter 25 – 35 mm. Dan tinggi 30 – 35 mm.
2. *Vertical electric tube furnace*.

Prosedur :

1. Menimbang sampel seberat 1 g dalam krusibel platina, tutup krusibel dan masukkan dalam furnace, temperatur dijaga  $950 \pm 20^\circ\text{C}$ .
2. Setelah *volatile matter* lepas, yang ditunjukkan dengan hilangnya api luminous, periksa tutup krusibel masih tertutup.
3. Setelah pemanasan tepat 7 menit, pindahkan krusibel keluar furnace dan dinginkan.
4. Timbang ketika dingin
5. Presentasi weigh loss dikurangi presentasi moisture sama dengan *volatile matter*.

Perhitungan :

$$\text{Weight Loss, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.2)$$

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)



Kemudian persen *volatile matter* dihitung,

$$\text{Volatile matter, \%} = C - D \quad (3.3)$$

Dimana,

$C = \text{Weight Loss (\%)}$

$D = \text{Moisture (\%)}$

### c. *Ash*

Analisa kadar *ash* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Alat :

1. *Electric muffle furnace*
2. Kapsul porselen atau krusibel platina
3. Tutup krusibel

Prosedur :

1. Memasukkan 1 g sampel dalam kapsul dan ditimbang dan tutup. Letakkan kapsul dalam furnace dingin. Panaskan dengan temperatur 450 – 500°C selama 1 jam.
2. Memanaskan sampel hingga temperatur mencapai 700 – 750°C selama 1 jam. Kemudian lanjutkan pemanasan hingga 2 jam.
3. Pindahkan kapsul keluar dari furnace, didinginkan dan timbang.

Perhitungan :

$$\text{Ash \%} = [(A - B) / C] \times 100 \quad (3.4)$$

Dimana,

A = berat kapsul, tutup, dan ash (gram)

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)

C = berat sampel yang digunakan (gr)

### d. *Fixed Carbon*

Analisa kadar *fixed carbon* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3172-02 dengan perhitungan dari data kadar moisture, ash, dan *volatile matter*.



---

$$\text{Fixed Carbon, \%} = 100\% - [\text{moisture (\%)} + \text{ash (\%)} + \text{volatile matter (\%)}] \quad (3.5)$$

#### 4. Neraca Massa Briket Nikel Laterit Limonitik

Proses pembriketan yang akan dilakukan proses aglomerasi memerlukan perhitungan terhadap massa bahan yang akan dikomposisikan. Perhitungan dilakukan berdasarkan persamaan reaksi yang terjadi pada proses reduksi bijih nikel laterit limonit. Perhitungan ini berpengaruh pada keberhasilan proses aglomerasi dan komposisi yang dihasilkan. Adapun bahan yang dikomposisikan adalah bijih nikel laterit, batu bara, dan bahan tambahan lain seperti dolomit, natrium sulfat, dan kanji. Perhitungan untuk masing-masing massa bahan tersebut dilakukan dengan memperhatikan perilaku termal senyawa penyusunnya pada temperatur 1400°C.

Komposisi batu bara diperhitungkan berdasarkan kebutuhan gas CO, sesuai reaksi Boudouard (2.15), sebagai agen reduktor untuk mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$ . Batu bara juga diperlukan untuk kebutuhan gas CO sebagai agen reduksi dekomposisi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Kebutuhan Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ditentukan dari 10% massa total setelah dihitung neraca massa yang didapat dari bijih nikel laterit, batubara, dan fluks (Jiang, et al. 2013). Diharapkan penambahan Natrium sulfat dapat mengikat Fe yang akan membentuk FeS dan Natrium silikat sesuai reaksi (2.25) dan (2.26), sehingga kadar Fe akan turun menyebabkan kadar Ni meningkat. Kebutuhan dolomit ditentukan berdasarkan kebutuhan gas  $\text{CO}_2$  yang diperlukan sebagai pembentuk gas reduktor sebagai gas pereduksi. Sedangkan kebutuhan kanji sebagai pengikat briket sesuai dengan kebutuhan.





Desain target proses aglomerasi briket ditentukan pada Tabel 3.1 berikut:

**Tabel 3. 1** Target Aglomerasi Nikel Laterit Limonit

Target	Keterangan	Nilai	Satuan
<b>Reaksi Reduksi</b>	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Persen (%)
	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$	100	Persen (%)
	$\text{NiO} \rightarrow \text{Ni}$	100	Persen (%)
<b>Reaksi</b>	$\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$	100	Persen (%)
<b>Pengikat</b>	Kanji	3	Persen (%)

Berdasarkan target proses reduksi briket tersebut, maka dilakukan perhitungan komposisi dengan neraca massa dengan ditentukan sebagai basis adalah bijih nikel laterit. Diperoleh perbandingan komposisi ore : reduktor : Natrium Sulfat : kanji.

**Tabel 3. 2** Perbandingan Komposisi Ore : Reduktor : Fluks :  
 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : Kanji

Variabel Reduktor	Bijih Nikel (gram)	Reduktor (gram)	Fluks (gram)	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (gram)	Kanji (gram)
Batu Bara	100	64,43	24	19	5,624
Arang Batok Kelapa	100	41,48	24	16,5	4,934
Green Coke	100	36,57	24	16	4,54



Jika melalui perhitungan persentase massa bijih tiap variasi briket dengan kadar Fe 57,95% dan Ni 1,25% dalam bijih, dapat diperoleh kadar Fe dan Ni pada masing-masing briket variasi jenis reduktor sebelum dilakukan proses reduksi ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Kadar Ni dan Fe pada Briket

Variabel Reduktor	Massa Campuran Briket	Fe		Ni	
		Massa (gram)	%	Massa (gram)	%
Batu bara	193,104	57,95	28,67	1,25	0,64
Arang Batok Kelapa	169,424	57,95	32,68	1,25	0,73
Green coke	155,58	57,95	35,59	1,25	0,80

### 3.5. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ditunjukkan pada tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Rancangan Penelitian

Perbandingan Komposisi Bahan dengan Jenis Reduktor		Hasil Pengujian	
Jenis Reduktor	Rasio Komposisi (*)	XRD	EDX
Batu Bara	100 : 64,43 : 24 : 19 : 5,624	Y	Y
Arang Batok Kelapa	100 : 41,48 : 24 : 16,5 : 4,934	Y	Y
Green Coke	100 : 36,57 : 24 : 16 : 4,54	Y	Y

(\*) = Komposisi Bahan Ore : Reduktor : Fluks :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : Kanji

### 3.6. Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian ini disusun dengan tujuan agar penelitian dapat dilakukan tepat waktu dan terencana. Selain itu jadwal

## BAB III METODE PENELITIAN



kegiatan berfungsi agar peneliti dapat melakukan evaluasi mengenai *timeline* penelitian yang dilakukan.

**Tabel 3. 5** Jadwal Penelitian

Kegiatan	Februari		Maret				April				Mei			
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Preparasi alat dan sampel														
Pengujian Bahan														
Pembriketan dan Proses Reduksi														
Pengujian Hasil Reduksi														
Analisis Data dan Pembahasan														



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Karakterisasi Bahan Penelitian

##### 4.1.1. Bijih Nikel Laterit Limonitik

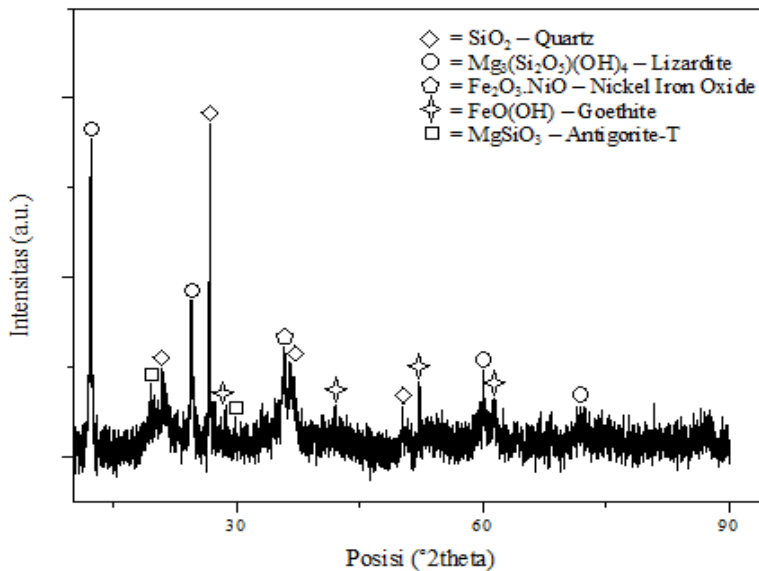
Bijih Nikel Lateritik yang digunakan berupa limonit yang berasal dari Sulawesi Tenggara. Untuk mengkarakterisasi bijih nikel lateritic limonitic terlebih dahulu dilakukan preparasi sampel dengan ayakan 50 mesh atau 300  $\mu\text{m}$ . Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi / kadar bijih nikel laterit. Sehingga didapatkan data komposisi bijih nikel laterit yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit Limonit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	Mn	Co
%wt	1,25	57,59	11,525	7,58	0,52	0,54	1,69	0,88	1,62

Dari Tabel 4.1 didapatkan kadar Ni sebesar 1,25% dan Fe sebesar 57,59% yang kemudian dijadikan basis perhitungan neraca massa untuk proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik.

Identifikasi fasa dari bijih nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar 1,54056 Å. Hasil pengujian XRD dari bijih nikel limonit laterit dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4. 1** Hasil XRD Bijih Nikel Laterit

Pengujian XRD menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 di atas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada bijih nikel laterit limonite. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada bijih tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada bijih nikel laterit adalah *goethite* ( $\text{FeOOH}$ ). Selain itu juga terdapat fasa *lizardite* ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) dan *Nickel Iron Oxide* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{NiO}$ ).

#### 4.1.2. Batu Bara

Batu bara yang digunakan berasal dari Benuang, Kalimantan Selatan. Pada penelitian ini batu bara digunakan sebagai penyedia karbon untuk menghasilkan gas reduksi berupa



gas CO. Gas CO yang berasal dari reaksi *bouduard* yang akan mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi Fe dan NiO menjadi Ni.

Pengujian *proximate analysis* merupakan pengujian sangat penting dalam menentukan kadar *moisture*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Pengujian *proximate* dilakukan berdasarkan standar ASTM D 3173-02. Hasil pengujian *proximate analysis* batubara yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
<b>Kelembapan Total</b> ( <i>Moisture</i> )	1,8	%, ar	ASTM D3302-02
<b>Kadar Abu</b> ( <i>Ash</i> )	4,75	%, ar	ASTM D3174-02
<b>Kadar Karbon Tetap</b> ( <i>Fixed Carbon</i> )	42,35	%, adb	ASTM D3175-02
<b>Kadar Zat yang Mudah Menguap</b> ( <i>Volatile Matter</i> )	52,86	%, adb	ASTM D3172-02
<b>Nilai Kalori</b>	7204	Cal/gr, adb	ASTM D5865-03

Batu bara ini memiliki nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 7204 kal/gr dan kadar karbon 42,35%. Sehingga dapat dikategorikan sebagai batu bara golongan sub-bituminus. Hasil dari *proximate analysis* diatas digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik.



#### 4.1.3. Arang Batok Kelapa

Arang batok kelapa merupakan salah satu jenis reduktor yang digunakan sebagai penyedia gas CO. Pengujian *proximate analysis* dilakukan untuk mengetahui parameter arang batok kelapa. Hasil pengujian *proximate analysis* arang batok kelapa yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian *Proximate Analysis* Arang Batok Kelapa

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
<b>Kelembapan Total</b> ( <i>Moisture</i> )	13,98	%, adb	ASTM D3173-11
<b>Kadar Abu</b> ( <i>Ash</i> )	3,17	%, adb	ASTM D3174-12
<b>Kadar Karbon Tetap</b> ( <i>Fixed Carbon</i> )	64,51	%, adb	ASTM D3172-13
<b>Kadar Zat yang Mudah Menguap</b> ( <i>Volatile Matter</i> )	18,34	%, adb	ASTM D3175-11

Arang batok kelapa ini memiliki kadar karbon sebesar 64,51%. Hasil dari *proximate analysis* diatas digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik.

#### 4.1.4. Green Coke

*Green coke* merupakan salah satu jenis reduktor yang digunakan dalam penelitian ini yang digunakan sebagai penyedia gas CO. Pengujian *proximate analysis* dilakukan untuk mengetahui parameter *green coke*. Hasil pengujian *proximate analysis* arang batok kelapa yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN





**Tabel 4. 4** Hasil Pengujian *Proximate Analysis Green Coke*

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
<b>Kelembapan Total</b> <i>(Moisture)</i>	1,58	%, adb	ASTM D3173-11
<b>Kadar Abu (Ash)</b>	7,29	%, adb	ASTM D3174-12
<b>Kadar Karbon Tetap</b> <i>(Fixed Carbon)</i>	72,84	%, adb	ASTM D3172-13
<b>Kadar Zat yang Mudah Menguap</b> <i>(Volatile Matter)</i>	18,29	%, adb	ASTM D3175-11

*Green coke* ini memiliki kadar karbon sebesar 72,84%. Hasil dari *proximate analysis* diatas digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan proses reduksi langsung bijih nikel laterit limonitik.

#### 4.1.5. Dolomit

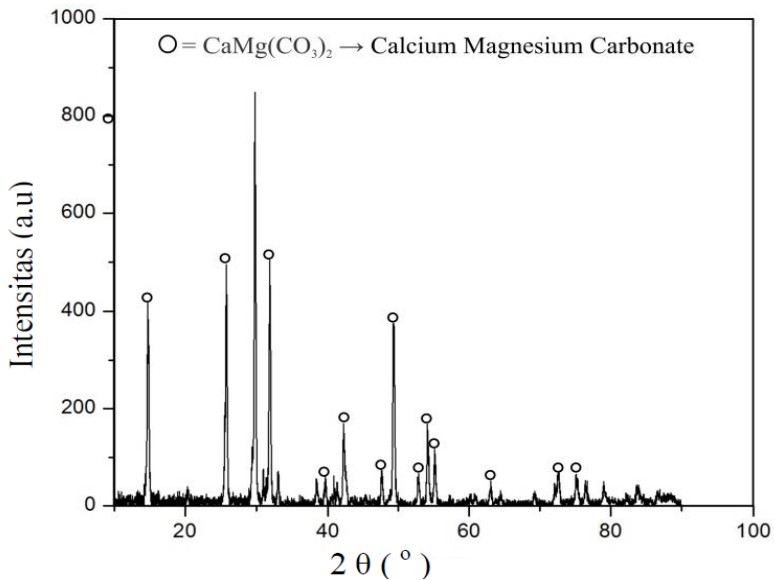
Identifikasi komposisi atau kadar unsur dari dolomit menggunakan mesin SEM-EDX *PAN analytical X'Pert* Departemen Teknik Material ITS. Pada penelitian ini menggunakan batu kapur berupa dolomit yang berasal dari Gresik. Sebelum dilakukan pengujian, dolomit telah diayak dengan ayakan 50 *mesh* atau 300  $\mu\text{m}$ . Hasil pengujian EDX pada dolomit ditunjukkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4. 5** Hasil Pengujian EDX Dolomit

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium	Ca	18,015
2.	Magnesium	Mg	14,30
3.	Karbon	C	12,6215
4.	Oksigen	O	55,0635

Hasil pengujian EDX diatas tampak bahwa batu kapur memiliki kadar Mg yang cukup tinggi, yaitu 14,30%. Dari kadar Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa batu kapur yang digunakan ialah *dolostone* atau dolomit bukan *limestone* (Pettijohn, 1957). Dari segi proses aglomerasi, baik Mg maupun Ca yang membentuk senyawa  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  akan membantu proses dengan cara menyediakan gas  $\text{CO}_2$  untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.2.

Selain itu juga dilakukan pengujian XRD untuk mengidentifikasi fasa dari dolomit. Pengujian XRD menggunakan mesin XRD *PAN analytical X'Pert* Departemen Teknik Material ITS. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Sampel yang digunakan pada pengujian XRD menggunakan hasil *sampling* yang sama dengan pengujian EDX. Hasil pengujian XRD pada dolomit dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Hasil Pengujian XRD Dolomit

Pengujian XRD dari batu kapur menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 diatas. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada batu kapur. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada batu kapur tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada batu kapur adalah *Calcium Magnesium Carbonate* ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

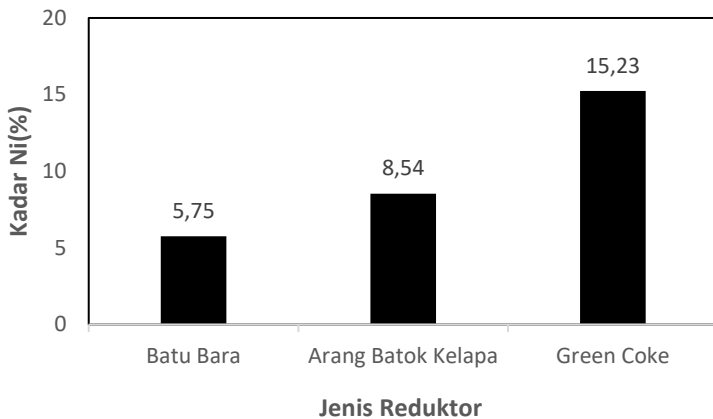
#### **4.2. Pengaruh Variasi Jenis Reduktor Terhadap Kadar Unsur Ni dan Fe Produk Hasil Proses Reduksi**

Variasi jenis reduktor pada proses reduksi briket nikel laterit limonitik akan mempengaruhi kadar unsur Ni dan Fe pada produk hasil proses reduksi.



#### 4.2.1 Pengaruh Variasi Jenis Reduktor Terhadap Kadar Unsur Ni Produk Hasil Proses Reduksi

Variasi jenis reduktor pada proses reduksi briket nikel laterit limonitik akan mempengaruhi kadar unsur Ni dan Fe pada produk hasil proses reduksi. Pengaruh variasi jenis reduktor terhadap kadar Ni dapat dilihat pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Pengaruh Variasi Jenis Reduktor Terhadap Kadar Ni pada Produk Hasil Reduksi

Dari Gambar 4.3. dapat diketahui bahwa telah terjadi proses reduksi pada briket. Hal ini dibuktikan dengan naiknya kadar Ni setelah dilakukan proses reduksi. Kenaikan kadar Ni dengan jenis reduktor batu bara pada produk hasil proses reduksi adalah sebesar 5,75% dengan peningkatan sebesar 4,5%. Kadar Ni dengan jenis reduktor arang batok kelapa setelah proses reduksi adalah sebesar 8,54% dengan peningkatan 7,29%. Adapun peningkatan kadar Ni setelah proses reduksi dengan jenis reduktor *green coke* yaitu sebesar 13,98% dengan kadar Ni produk hasil reduksi sebesar 15,23%. Peningkatan kadar unsur Ni paling tinggi adalah dengan reduktor *green coke*, kemudian dengan reduktor



arang batok kelapa. Peningkatan unsur Ni produk paling rendah adalah dengan reduktor batu bara.

Peningkatan kadar unsur Ni ini terjadi karena adanya dekomposisi *goethite* ((Fe,Ni)OOH) akibat reaksi dehidroksilasi yang terjadi pada temperatur sekitar 300°C yang merupakan perubahan struktural akibat rusaknya struktur OH atau hilangnya mineral kristalin yang mengikat air. Hal tersebut terjadi secara alami pada proses reduksi sebagai efek dari pemanasan. Adanya reaksi dehidroksilasi menyebabkan terlepasnya senyawa NiO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada *goethite* ((Fe,Ni)OOH) (F.O.Connor, 2006).

Dengan semakin meningkatnya temperatur, gas CO akan dihasilkan sebagai akibat reaksi dari karbon (C) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) (Li, 2013). Dalam hal ini, ukuran pori reduktor memiliki peran dalam menghasilkan konsentrasi karbon (C) yang keluar dari reduktor untuk bereaksi dengan CO<sub>2</sub> sehingga menghasilkan gas CO tersebut. Gas CO yang terbentuk ini kemudian akan mereduksi NiO menjadi Ni. Bijih nikel yang kompleks menyebabkan reaksi reduksi terjadi secara simultan dimulai dari NiO menjadi Ni. Dengan tereduksinya NiO menjadi Ni akan meningkatkan kadar Ni pada hasil reduksi. Hal ini didukung dengan meningkatnya kadar Ni produk hasil reduksi. Karbon Aktif (*Activated Carbon*) adalah senyawa hasil pembakaran yang mengandung karbon dan memiliki ruang pori, dimana ruang pori tersebut berukuran sangat kecil (berdimensi atom) dan sulit digambarkan karena bentuknya sangat beragam. Efektivitas karbon aktif sangat tergantung dengan porositasnya. (Marsh dan fransisco, 2006).

Tampak pada gambar 4.3, bahwa kadar Ni tertinggi setelah dilakukan proses reduksi adalah dengan reduktor *green coke*. Hal ini dikarenakan ukuran pori *green coke* yang lebih besar dari pada ukuran pori reduktor lainnya. Ukuran pori *green coke* yang besar akan menyebabkan kecepatan reaksi lebih cepat dikarenakan konsentrasi karbon yang dihasilkan lebih banyak. Hal ini menyebabkan proses reaksi lebih optimal untuk menghasilkan



kadar Ni yang optimal juga. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Elisabeth Paskalia (2017) dan K.C. Xie (2015) diperoleh ukuran pori masing-masing reduktor.

**Tabel 4. 6** Perbandingan Ukuran Pori terhadap Kadar Ni Produk

Variabel	Ukuran Pori (Angstrom)	Kadar Ni Produk (%)
Batu Bara	9,4	5,75
Arang	33	8,54
Green Coke	60-100	15,23

Dari tabel 4.6, diketahui bahwa *green coke* memiliki ukuran pori paling besar yaitu 60-100 Angstrom. Arang memilki ukuran pori sebesar 33 Angstrom dan paling kecil adalah batu bara yaitu sebesar 9,4 Angstrom.

Untuk mendukung data ukuran pori, dilakukan pengujian *bulk density* terhadap ketiga jenis reduktor. *Bulk density* menunjukkan jumlah serta ukuran pori suatu material. Nilai *bulk density* yang rendah menunjukkan ukuran pori yang lebih besar. Begitu juga sebaliknya.

**Tabel 4. 7** Nilai *Bulk Density* Reduktor

Jenis Reduktor	<i>Bulk Density</i> (gr/cm <sup>3</sup> )
Batu Bara	0,787
Arang Batok Kelapa	0,745
<i>Green Coke</i>	0,676

Dari tabel 4.7 dapat diketahui bahwa nilai *bulk density* tertinggi adalah pada jenis batu bara yaitu sebesar 0,787 gr/cm<sup>3</sup>,

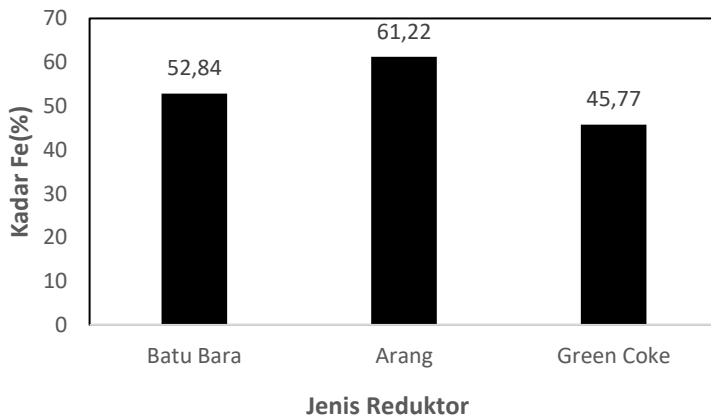
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



kemudian jenis reduktor arang batok kelapa yaitu sebesar  $0,745 \text{ gr/cm}^3$  dan yang paling rendah adalah jenis reduktor *green coke* yaitu sebesar  $0,676 \text{ gr/cm}^3$ . Data *bulk density* ini mendukung ukuran pori yang diperoleh. Secara alami, semakin halus ukuran partikel penyusun, berarti semakin padat materialnya, sehingga ruang porinya akan menyempit, begitu juga sebaliknya (Hanafiah, 2010). Nilai *bulk density* juga akan mempengaruhi laju permeabilitas. Dengan semakin meningkatnya nilai *bulk density* akan menurunkan laju permeabilitasnya.

#### 4.2.2. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap Kadar Unsur Fe pada Produk Hasil Proses Reduksi

Variasi jenis reduktor pada proses reduksi briket nikel laterit limonitik akan mempengaruhi kadar unsur Fe pada produk logam hasil proses reduksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



**Gambar 4. 4** Kadar Fe Produk Hasil Reduksi

Hasil Pengujian EDX menunjukkan bahwa kadar awal unsur bijih Fe adalah 57,95%, setelah dilakukan proses reduksi pada temperature  $1400^{\circ}\text{C}$  dengan jenis reduktor batu bara diperoleh kadar unsur Fe pada produk hasil reduksi sebesar 52,84%.



Peningkatan kadar Fe diperoleh dengan reduktor arang sebesar 3,27% dengan kadar unsur Fe produk hasil reduksi sebesar 61,22%. Selanjutnya, terjadi penurunan kadar unsur Fe yaitu dengan reduktor *green coke* sebesar 12,18% dengan kadar unsur Fe produk hasil reduksi sebesar 45,77%.

Peningkatan kadar Fe yang terjadi diakibatkan oleh reaksi dehidroksilasi dimana terjadi karena adanya dekomposisi *goethite* ((Fe,Ni)OOH) akibat reaksi dehidroksilasi pada temperatur 300°C menyebabkan terlepasnya senyawa NiO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada *goethite* ((Fe,Ni)OOH) (F.O.Connor, 2006). Semakin meningkatnya temperatur, reaksi *boudouard* terjadi dan membentuk gas CO sebagai pereduksi. Gas CO tersebut kemudian secara simultan mereduksi besi *hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) menjadi besi *magnetite* (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), dan besi *magnetite* juga akan tereduksi hingga membentuk besi *wustite* (FeO) dan terakhir akan tereduksi menjadi Fe (Chen, 2010). Dengan tereduksinya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hingga menjadi Fe akan meningkatkan kadar Fe pada hasil reduksi. Selain itu, seiring dengan meningkatnya temperatur bukan hanya menyebabkan terjadinya reaksi dehidroksilasi namun juga menyebabkan menurunnya LOI (*Loss of Ignition*) dan menghilangnya *volatile matter* yang akan meningkatkan konsentrasi Fe (Kyoung, 2014).

Sementara itu, kadar Fe yang rendah pada variasi reduktor *green coke* terjadi karena adanya faktor selektivitas Ni pada saat penggunaan dengan reduktor *green coke*, dimana peningkatan kadar Ni akan mengakibatkan menurunnya kadar Fe (Pickles, 2014). Hal ini sesuai dengan peranan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai agen selektivitas yang akan menekan tingkat reduksi besi oksida supaya reduksi pada nikel oksida berlangsung lebih maksimal.

Jenis reduktor arang memiliki kadar Fe tertinggi dikarenakan arang memiliki kandungan sulfur yang rendah dibanding jenis reduktor lainnya. Kandungan sulfur yang rendah disebabkan karena arang batok mempunyai kalori cukup tinggi dan mampu menyerap sebagian sulfur yang masih tersisa di dalam





semikokas tersebut (Suyadi. D, 2003). Hali ini menyebabkan Fe tidak banyak berikatan dengan unsur S yang akan membentuk FeS.

#### 4.3. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap *Recovery* Unsur Fe dan Ni pada Produk Hasil Proses Reduksi

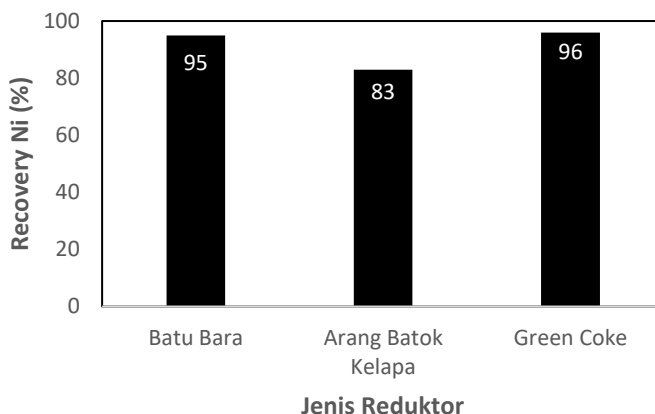
Proses reduksi pada bijih nikel laterit limonitik dilakukan untuk memisahkan nikel dengan unsur atau senyawa pengotor yang tidak diinginkan. Suatu proses dikatakan optimal jika suatu proses reduksi mendapatkan perolehan (*recovery*) logam dengan persentase tinggi, presentase perolehan ini dihitung dari massa unsur awal dibanding dengan massa unsur hasil reduksi.

##### 4.3.1. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap *Recovery* dari Unsur Ni pada Produk Hasil Proses Reduksi

Untuk mengetahui perolehan (*recovery*) nikel dilakukan dengan membandingkan massa nikel awal dengan massa nikel hasil proses reduksi. Massa Ni hasil proses reduksi yang dihitung adalah dari hasil metal dan serbuk, perhitungan massa Ni dilakukan dengan mengalikan kadar Ni dengan total massa perolehan hasil proses reduksi.

**Tabel 4. 8** Perhitungan Massa dan *Recovery* Ni Hasil Reduksi

Reduktor	Wt Serbuk Total (gr)	Wt Metal Total (gr)	%Ni Metal
Batu Bara	8,9	2,5	5,75
Arang	9	1	8,54
Green COke	11	2	15,23



**Gambar 4.5** *Recovery Ni Produk Hasil Reduksi*

Berdasarkan Gambar 4.5, *recovery* Ni tertinggi adalah pada reduktor *green coke*, yaitu sebesar 96%. Dan *recovery* tertinggi setelah *green coke* adalah pada reduktor batu bara, yaitu sebesar 95%. Dan *recovery* terkecil dibanding jenis reduktor lainnya adalah dengan reduktor arang, yaitu sebesar 83%. *Recovery* Ni memiliki nilai yang tinggi disebabkan oleh kadar Ni pada produk yang tinggi akibat dari pori pada *green coke* yang besar untuk menghasilkan karbon untuk menghasilkan gas CO sebagai akibat reaksi dengan CO<sub>2</sub> dari dolomit. Batu bara memiliki *recovery* yang tinggi karena massa awal *ore* yang lebih sedikit dibanding reduktor lainnya.

*Recovery* Ni tertinggi terjadi karena optimalnya peran Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai agen selektivitas yang mampu meningkatkan perolehan Ni sebagai akibat dari penurunan perolehan Fe yang berikatan dengan S membentuk FeS yang merupakan senyawa pengotor. Terbentuknya fasa *iron sulfide* (FeS) merupakan hasil reaksi antara besi dengan belerang dimana pada saat campuran bijih nikel laterit dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dipanaskan, maka Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terurai menjadi Na<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>S dan S. Belerang yang terbentuk kemudian

---

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



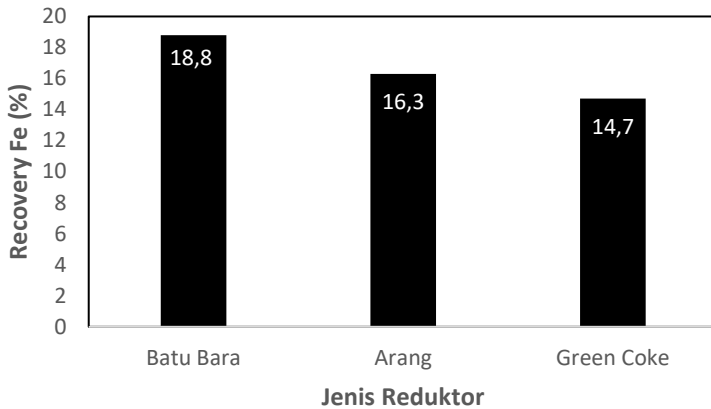
akan bereaksi dengan besi membentuk  $\text{FeS}$ , sedangkan  $\text{Na}_2\text{O}$  akan bereaksi dengan silikat membentuk senyawa natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah. Adanya fasa  $\text{FeS}$  dan natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah akan melarutkan partikel-partikel logam dan mempercepat proses perpindahan masa partikel logam sehingga memacu pertumbuhan pertumbuhan partikel logam. Terbentuknya ukuran partikel logam yang relatif besar akan mempermudah proses peningkatan kadar logam Ni dengan alat pemisah magnet. (Man Jiang, 2013).

#### 4.3.2. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap *Recovery* dari Unsur Fe pada Produk Hasil Proses Reduksi

Untuk mengetahui perolehan (*recovery*) besi dilakukan dengan membandingkan massa besi awal dengan massa besi hasil proses reduksi. Massa Fe hasil proses reduksi yang dihitung adalah dari hasil metal dan serbuk, perhitungan massa Fe dilakukan dengan mengalikan kadar Fe dengan total massa perolehan hasil reduksi. Perhitungan massa Fe hasil reduksi ditampilkan pada Tabel 4.8.

**Tabel 4. 9** Perhitungan Massa dan *Recovery* Fe Hasil Reduksi

Reduktor	Wt Serbuk Total (gr)	Wt Metal Total (gr)	%Fe Metal
Batu Bara	8,9	2,5	52,84
Arang	8	1	61,22
Green Coke	12	2	45,77



**Gambar 4. 6** *Recovery Fe Produk Hasil Reduksi*

Berdasarkan Gambar 4.6, dapat diketahui bahwa *recovery* Fe tertinggi adalah dengan menggunakan reduktor batu bara yaitu sebesar 18,8%. *Recovery* Fe tertinggi setelah batu bara adalah pada reduktor arang, yaitu sebesar 16,3%. Dan *recovery* Fe terkecil dibanding jenis reduktor lainnya adalah dengan reduktor *green coke*, yaitu sebesar 14,7%. *Recovery* Fe tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu signifikan pada setiap reduktor. *Recovery* yang kecil untuk Fe disebabkan adanya agen selektivitas yang menurunkan perolehan Fe karena berikatan dengan S membentuk FeS yang merupakan senyawa pengotor.(Guang Li,2012). Selain itu kadar S pada *green coke* yang tinggi juga menyebabkan Fe berikatan dengan unsur S. *Recovery* jenis reduktor batu bara yang tinggi diakibatkan oleh massa awal ore yang lebih sedikit dibanding dengan jenis reduktor yang lainnya.

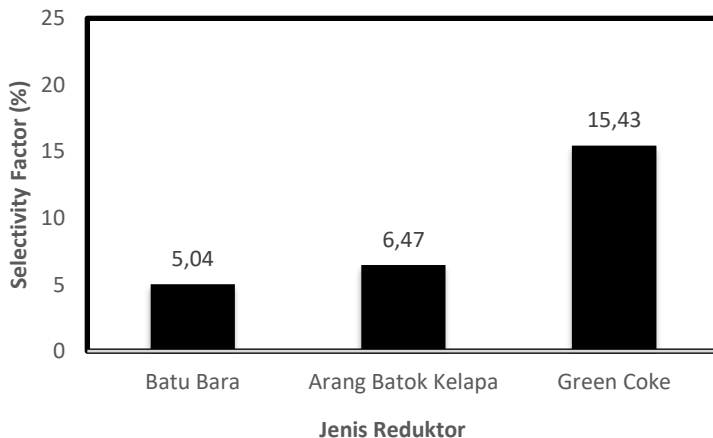
#### **4.4. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap Faktor Selektivitas Hasil Produk Proses Reduksi**

Pada proses reduksi bijih nikel laterit, kadar unsur Ni akan meningkat seiring dengan menurunnya kadar unsur Fe, begitu pula sebaliknya. Di dalam proses reduksi, faktor selektivitas



dipengaruhi oleh atmosfer reduksi. Atmosfer reduksi yang rendah di dalam *furnace* akan semakin meningkatkan faktor selektivitas (Pickles, 2014). Faktor selektivitas menunjukkan kemampuan untuk mereduksi Ni dan Fe, dimana semakin tinggi kemampuan reduksi Ni dan semakin rendah kemampuan reduksi Fe akan meningkatkan nilai faktor selektivitas. Kemampuan reduksi dapat direpresentasikan dengan kadar Ni dan Fe hasil reduksi.

Adapun pada penelitian ini, faktor selektivitas dihitung berdasarkan persamaan berikut ini. Sedangkan hasil perhitungan faktor selektivitas pada masing-masing variasi rasio batu bara dan dolomit disajikan pada Gambar 4.7



**Gambar 4.7** Nilai *Selectivity Factor*

Gambar 4.8 menunjukkan pengaruh variasi jenis reduktor terhadap faktor selektivitas hasil produk proses reduksi. Faktor selektivitas tertinggi adalah dengan reduktor *green coke*, yaitu sebesar 15,43%, kemudian reduktor arang sebesar 6,47% dan terendah adalah reduktor batu bara, yaitu sebesar 5,04%

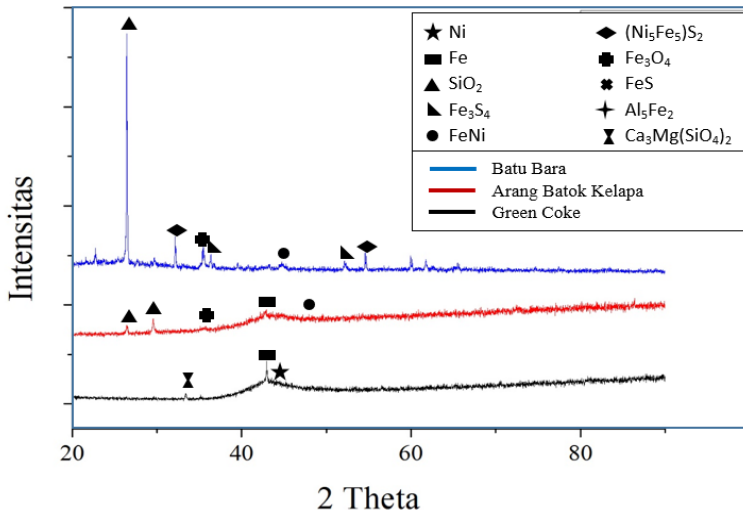


Adapun faktor selektivitas tersebut menunjukkan kemampuan gas CO untuk dapat mereduksi Ni dan Fe, dimana kemampuan reduksi Ni yang semakin tinggi dengan kemampuan reduksi Fe yang semakin rendah akan meningkatkan nilai faktor selektivitas (Wahyu, 2016).

Dilihat dari kadar akhir Ni pada variasi jenis reduktor *green coke* didapatkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan pada variasi rasio reduktor batu bara. Hal ini ditunjukkan dengan kadar Ni produk hasil reduksi yang tinggi sedangkan kadar Fe mengalami penurunan akibat Fe berikatan dengan unsur S membentuk FeS (Guan Li, 2012). Hal tersebut kemudian mempengaruhi nilai faktor selektivitas menjadi lebih tinggi.

#### **4.5. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap Fasa yang Terbentuk pada Produk Hasil Proses Reduksi**

Identifikasi fasa dari hasil reduksi yaitu berupa logam dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical X'Pert* Departemen Teknik Material ITS. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Adapun hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan HighScore Plus. Hasil pengujian XRD produk logam hasil proses reduksi ditunjukkan pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Hasil Pengujian XRD pada Metal Hasil Reduksi

Pada Gambar 4.8 dengan jenis reduktor batu bara, terdapat fasa SiO<sub>2</sub> pada puncak 2θ 26,605. Adapun fasa *Nickel Iron Sulfide* [(Ni<sub>5</sub>Fe<sub>5</sub>)S<sub>2</sub>] pada puncak 2θ 32,114 dan 54,604. Fasa *Nickel Iron* (FeNi) didapatkan pada puncak 2θ 44,647. Fasa *Iron Sulfide* (Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub>) di puncak 2θ 36,342 dan 52,342. Fasa *Magnetite* (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) terbentuk pada puncak 2θ 35,521. Fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan merupakan fasa besi oksida yang tidak berhasil direduksi oleh gas CO secara maksimal. Kemudian fasa (Ni<sub>5</sub>Fe<sub>5</sub>)S<sub>2</sub> merupakan fasa yang terbentuk dari unsur yang diinginkan berikatan dengan pengotor yang terdapat pada kandungan bijih nikel laterit. Untuk fasa (Ni<sub>5</sub>Fe<sub>5</sub>)S<sub>2</sub> merupakan produk yang tidak tereduksi sempurna dikarenakan masih terdapat unsur belerang. Selanjutnya untuk fasa SiO<sub>2</sub> dan Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub> merupakan pengotor dari proses reduksi. SiO<sub>2</sub> merupakan fasa pengotor yang tidak tereduksi dengan baik pada saat proses, sedangkan fasa Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub> merupakan fasa yang terbentuk akibat reaksi dari besi dengan belerang yang berasal dari



dekomposisi aditif  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Seharusnya fasa ini meleleh pada saat proses reduksi karena memiliki temperatur leleh rendah.

Pada Gambar 4.8 dengan jenis reduktor arang, puncak tertinggi adalah fasa Fe. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi reduksi dengan adanya penyedia  $\text{CO}_2$  dari dolomit dan karbon dari batubara yang berperan dalam pembentukan gas CO reaksi boduard sebagai gas reduktor yang akan mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan mejadi Fe sehingga membentuk fasa magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Pada peak 20 35,64 terdapat fasa magnetit yang menunjukkan bahwa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  telah tereduksi menjadi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Sementara pada peak 20 26,4 dan 20 29,3 terdapat  $\text{SiO}_2$ . Fasa ini merupakan fasa yang memang ada di dalam bijih nikel laterit limonitik yang digunakan. Reaksi reduksi  $\text{SiO}_2$  memiliki nilai energi bebas positif sehingga secara termodinamika  $\text{SiO}_2$  sulit di reduksi oleh gas CO (Yopy, 2014). Selanjutnya, pada peak 20 44,6 berupa fasa FeNi. Hal ini menunjukkan rekasi telah terjadi dengan baik karena salah satu produk yang diharapkan dimana telah terjadi reaksi  $\text{CO}_2$  dolomit dengan reduktor untuk membentuk gas CO.

Pada Gambar 4.8 dengan jenis reduktor *green coke*, puncak tertinggi adalah fasa Fe. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi reduksi dengan adanya penyedia  $\text{CO}_2$  dari dolomit dan karbon dari batubara yang berperan dalam pembentukan gas CO reaksi boduard sebagai gas reduktor yang akan mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan mejadi Fe sehingga membentuk fasa magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Pada peak 20 44,35 terdapat Ni yang merupakan hasil reduksi NiO oleh gas CO.

Fasa Fe dan Ni yang terbentuk dalam senyawa produk menandakan bahwa proses reduksi telah berlangsung optimal karena telah mereduksi pengotor yang berikatan dengan fasa ini. Hal ini didukung dengan pasokan gas CO yang terbentuk akibat rekasi karbon dari reduktor dengan  $\text{CO}_2$  dari dolomit. Kadar karbon dari reduktor *green coke* yang memiliki pori lebih besar memberikan pasokan CO yang lebih optimal. Hal ini menyebabkan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan NiO di ore semakin sedikit.

---

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN





**Tabel 4. 10** Identifikasi Fasa pada Produk Logam Hasil Proses Reduksi

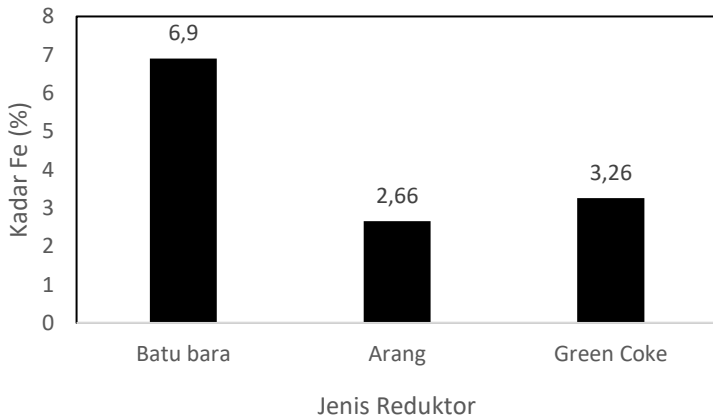
Fasa	Rumus Kimia
<i>Nickel</i>	Ni
<i>Iron</i>	Fe
<i>Quartz</i>	SiO <sub>2</sub>
<i>Nickle Iron</i>	FeNi
<i>Magnetite</i>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
<i>Aluminium Iron</i>	Al <sub>5</sub> Fe <sub>2</sub>
<i>Pyrite</i>	FeS
<i>Merwinite</i>	Ca <sub>3</sub> Mg(SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
<i>Nickle Iron Sulfide</i>	(Ni <sub>5</sub> Fe <sub>5</sub> )S <sub>2</sub>
<i>Iron Sulfide</i>	Fe <sub>3</sub> S <sub>4</sub>

Identifikasi fasa dari hasil reduksi briket nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ .

#### **4.6. Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap Kadar Unsur Fe serta Fasa yang Terbentuk pada *Slag* Hasil Proses Reduksi**

Proses reduksi pada bijih nikel laterit limonitik dilakukan untuk memisahkan nikel dengan unsur atau senyawa pengotor yang tidak diinginkan. Selanjutnya, dilakukan pemisahan magnetik dimana *slag* termasuk non-magnetik.

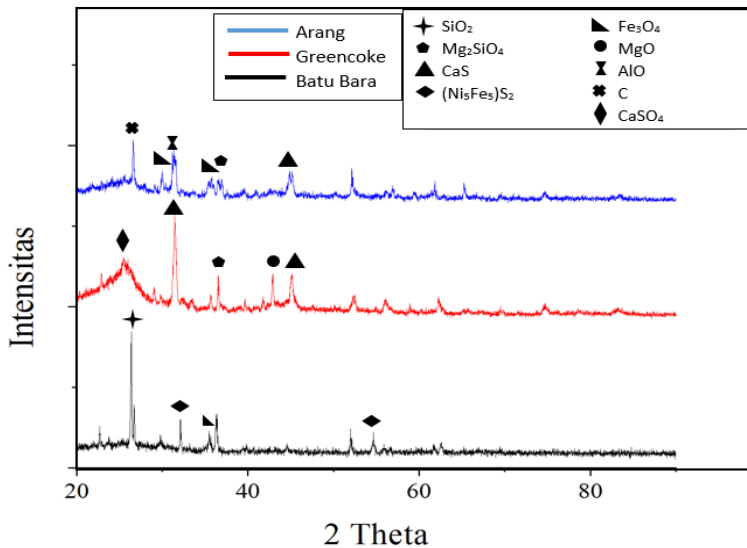
Jenis reduktor pada proses reduksi briket nikel laterit limonitik akan mempengaruhi kadar unsur Fe pada produk *slag* hasil proses reduksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Pengaruh Jenis Reduktor Terhadap Kadar Fe pada Slag Produk

Pada gambar 4.9, dapat diketahui bahwa didapatkan slag dengan kadar Fe tertinggi pada jenis reduktor batu bara sebesar 6,9%. Pada jenis reduktor *green coke* diperoleh kadar Fe sebesar 3,26% dan kadar Fe terendah sebesar 2,66% ditemukan pada reduktor arang. Rendahnya kadar Fe pada variabel reduktor arang menunjukkan bahwa atmosfer reduksi mengandung lebih banyak CO sehingga lebih banyak besi oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang tereduksi menjadi produk Fe. Kadar produk Fe yang rendah menunjukkan bahwa Fe, sedikit terikat ke dalam slag.

Identifikasi fasa dari hasil reduksi yaitu berupa logam dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical X'Pert* Departemen Teknik Material ITS. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Hasil pengujian XRD produk *slag* hasil proses reduksi ditunjukkan pada Gambar 4.10.



**Gambar 4. 10** Hasil Pengujian XRD pada Slag Hasil Reduksi

Dari Gambar 4.10., dapat diidentifikasi fasa yang terdapat pada produk *slag* hasil reduksi yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

**Tabel 4. 11** Identifikasi Fasa pada Produk Slag Hasil Proses Reduksi

Fasa	Rumus Kimia
<i>Calسيوم Sulfide</i>	CaS
<i>Calسيوم Sulfate</i>	CaSO <sub>4</sub>
<i>Periclas</i>	Mg <sub>3,83</sub> Fe <sub>0,17</sub> O <sub>4</sub>
<i>Forsterit</i>	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>
<i>Magnetit</i>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
<i>Quartz</i>	SiO <sub>2</sub>
<i>Magnesium Sulfate</i>	MgSO <sub>4</sub>
<i>Magnesium Oxide</i>	MgO



Pada gambar 4.10 dengan jenis reduktor batu bara terdapat *Silicon Oxide* ( $\text{SiO}_2$ ) pada puncak  $2\theta$  26,660, *Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  35,441, *Nickel Iron Sulfide* ( $\text{Ni}_5\text{Fe}_5\text{S}_2$ ) pada puncak  $2\theta$  32,114 dan 54,604. Fasa  $\text{SiO}_2$  merupakan pengotor pada bijih nikel laterit limonit yang belum tereduksi. Kemudian fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan hasil reduksi dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang belum tereduksi sempurna hingga menjadi Fe oleh gas CO. Selanjutnya untuk fasa ( $\text{Ni}_5\text{Fe}_5\text{S}_2$ ) merupakan pengotor dari produk yang diharapkan karena senyawa (Fe,Ni) berikatan dengan belerang.

Identifikasi fasa dari hasil reduksi briket nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Setelah proses reduksi pada briket laterit limonit didapatkan juga hasil reduksi yang berupa slag yang kemudian diuji XRD. Gambar 4.10 merupakan identifikasi dari fasa pada hasil slag yang telah dilakukan proses reduksi dalam *bed* batu bara – dolomit dalam *muffle furnace*.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan variasi jenis reduktor mempengaruhi kadar Ni pada produk hasil proses reduksi. Peningkatan kadar Ni tertinggi didapatkan saat briket direduksi dengan jenis reduktor *green coke*, dengan peningkatan kadar Ni sebesar 13,98%. Hal ini dikarenakan pori pada *green coke* yang lebih besar dibanding jenis reduktor lainnya, sehingga karbon yang digunakan untuk bereaksi dengan CO<sub>2</sub> membentuk CO lebih optimal. Penggunaan variasi jenis reduktor juga mempengaruhi kadar Fe pada produk hasil proses reduksi. Peningkatan kadar Fe tertinggi didapatkan saat briket direduksi dengan jenis reduktor arang batok kelapa, dengan peningkatan kadar Fe sebesar 3,27%. Hal ini dikarenakan perbedaan unsur S yang lebih sedikit dibanding reduktor lainnya. Sehingga lebih sedikit Fe berikatan dengan S yang akan membentuk FeS.
2. Penggunaan variasi jenis reduktor mempengaruhi *recovery* Fe dan Ni pada produk hasil proses reduksi. *Recovery* Ni dan Fe paling tinggi didapat dengan jenis reduktor *green coke* yaitu *recovery* Ni sebesar 96% dan *recovery* Fe paling tinggi adalah dengan jenis reduktor batu bara yaitu sebesar 18,8%. *Recovery* Ni memiliki nilai yang tinggi disebabkan oleh kadar Ni pada produk yang tinggi akibat dari pori pada *green coke* yang besar untuk menyuplai karbon untuk menghasilkan gas CO sebagai akibat reaksi dengan CO<sub>2</sub> dari dolomit. *Recovery* Fe dengan jenis reduktor batu bara yang tinggi diakibatkan oleh massa awal ore yang lebih sedikit dibanding dengan jenis reduktor yang lainnya.



3. Penggunaan variasi jenis reduktor mempengaruhi senyawa produk yang terbentuk. Pada penggunaan reduktor batu bara, terdapat fasa  $\text{SiO}_2$  pada puncak  $2\theta$  26,605. Adapun fasa *Nickel Iron Sulfide*  $[(\text{Ni}_5\text{Fe}_5)\text{S}_2]$  pada puncak  $2\theta$  32,114 dan 54,604. Fasa *Nickel Iron* (FeNi) didapatkan pada puncak  $2\theta$  44,647. Fasa *Iron Sulfide* ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) di puncak  $2\theta$  36,342 dan 52,342. Fasa *Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) terbentuk pada puncak  $2\theta$  35,521. Sementara itu dengan penggunaan reduktor arang, pada peak  $2\theta$  35,64 terdapat fasa magnetit yang menunjukkan bahwa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  telah tereduksi menjadi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Sementara pada peak  $2\theta$  26,4 dan  $2\theta$  29,3 terdapat  $\text{SiO}_2$ . Sementara dengan penggunaan reduktor *green coke*, terdapat puncak tertinggi yaitu fasa Fe. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi reduksi dengan adanya penyedia  $\text{CO}_2$  dari dolomit dan karbon dari batubara yang berperan dalam pembentukan gas CO reaksi boduard sebagai gas reduktor yang akan mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan mejadi Fe sehingga membentuk fasa magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Pada peak  $2\theta$  44,35 terdapat Ni yang merupakan hasil reduksi NiO oleh gas CO.

## 5.2. Saran

1. Melakukan penelitian reduksi bijih nikel laterit limonit dengan perbandingan gas CO/ $\text{CO}_2$  dalam atmosfer reduksi.
2. Melakukan penelitian tentang mekanisme pembentukan logam selama proses reduksi.
3. Mempelajari tentang mekanisme pemisahan Fe dan Ni selama proses reduksi.
4. Memperhatikan kehomogenitas temperatur pemanasan agar diperoleh hasil proses reduksi yang optimum.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Widi, Zulfiadi Zulhan, Achmad Shofi, Kusno Isnugroho, Fajar Nurjaman, and Erik Prasetyo. 2012. "Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace." **Prosiding InSINas**. 70.
- Bogdandy, L Von, and H.J Engell. 1971. "*The Reduction of Iron Ore*". **Springer-Verlag**
- Bowen B, H, and Marty W. Irwin, 2008. "Coal Characteristic", **The Energy Center at Discovery Park Purdue University**.
- Chang, Y.F., Zhai, X.jJ., Fu, Y., Ma, L.Z., Li, B.C., and Zhang, T.A., 2008. "Phase transformation in reductive roasting of laterite ore with microwave heating. Transactions of the Nonferrous Metals Society of China" 18: 969–973
- C. M. Diaz, C. A. Landolt, A. Vahed, A.E.M. Warner and J. C. Taylor, 1988. "Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt". **Proceedings of a Symposium**. C.P. Tyroler and C. A. Landolt Ed., The Metallurgical Society, 117th TMS Annual Meeting, Phoenix, Arizona, TMS 1988
- Crundwell, Frank K. "***Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals***." Amsterdam: Elsevier Ltd, 2011.
- Dalvi, Ashok D, W Gordon Bacon, and Robert C Osborne. 2004. "The Past and The Future of Nickel Laterites." **International Convention**. 1-7.
- Eko Sulistiyono, dkk . "Pengaruh Ukuran Butiran Terhadap Struktur Kristal Pada Proses Kalsinasi Parsial Dolomit".Tangerang Selatan.LIPI,2015
- Elliot, A., Fletcher, H., Li, J., Watling, H. and Robinson, D. J., 2009, "Heap leaching of nickel laterites-A challenge and an opportunity", *Hydrometallurgy of Nickel and Cobalt 2009, Proceeding of the 39th Annual Hydrometallurgy Meeting held in the conjunction with the 48t Annual Conference of Metallurgists of CIM*, 537-549.

- G.M. Mudd. 2009. "Nickel Sulfide Versus Laterite : The Hard Sustainability Challenge Remains", ***Proceeding of 48th Conference of Metallurgists and Nickel & Cobalt 2009***, Canadian Metallurgical Society, Sudbury, Canada, 10p.
- Guo, X.Y., Li, D., Kyung, H.P., Tian, Q.H., Wu, Z., 2009. **Leaching behavior of metals from a limonitic nickel laterite using a sulfation–roasting–leaching process.** Hydrometallurgy 99, 144–150
- Hassibi, Mohamad. 2015. "Factor Affecting the Quality of Quicklime". Chemco Systems, L.P.
- Jiang, M., Sun, T., Liu, Z., Kou, J., Liu, N., & Zhang, S. 2013. "Mechanism of Sodium Sulfate in Promoting Selective Reduction of Nickel Laterite Ore during Reduction Roasting Process." ***International Journal of Mineral Processing***. 32-33.
- Jungah, K., Gjergj, D., Hideaki, T., Katsunori, O., Seiji, M., Toyohisa, F., 2010. "Calcination of low-grade laterite for concentration of Ni by magnetic separation." ***Minerals Engineering*** 23. 282–288.
- Li, Shoubao. "Study of Nickeliferous Laterite Reduction." 1999: 1-8
- Michishita, Haruyasu., Tanaka, Hidetoshi. 2010. "Prospects for Coal-based Direct Reduction Process": 1-2.
- Noviyanti, Jasruddin, and Eko Hadi Sujiono. 2015. "Karakterisasi Kalsium Karbonat dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa." ***Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika***: 169-172.
- P. Engler, et al. "Non-isothermal. In Situ XRD. Analysis of Dolomite Decomposition". *The Rigaku. Journal*, vol. 5/No. 2, 1988.
- Rodrigues, Filipe Manuel. "Investigation Into The Thermal Upgrading of Nickeliferous Laterite Ore." *Material Science*, 2013: 1-10.
- Rudi Subagja, Agus Budi. P., Wahyu MS. (2016). **Peningkatan Kadar Nikel Dalam Laterit Jenis Limonit Dengan Cara**



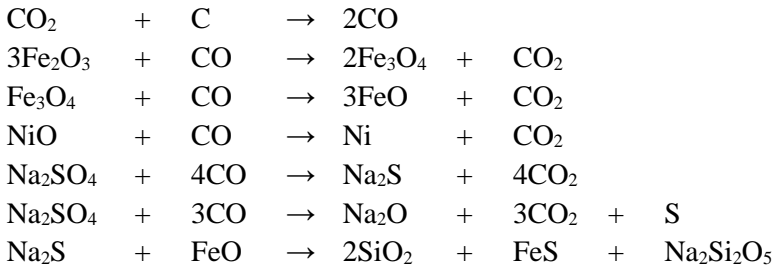
- Peletasi, Pemangangan Reduksi dan Pemisahan Magnet Campuran Bijih Batu Bara dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.** Metalurgi, 103-115.
- Wilman, RG and Soedarsono, JW. 2013. **“Studi Pengaruh Rasio Massa Pelet Komposit Bijih Besi/Batubara Terhadap Hasil Reduksi Langsung Pelet Komposit Bijih Besi/Batubara dengan Menggunakan Single Conveyor Hearth Furnace”.** Depok: Universitas Indonesia. 1-16.
- Supriadi. 2007. **“Sistem Informasi Geografis.”** USU Press. Medan.
- USGS, **“Minerals Yearbook”**, United States Geological Survey, USA, Years 2007 to 2012 (URL:<http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/myb.html> l).
- Tyroler, G.P, and C.A Landolt. ***Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt.*** New York: The Metallurgical Society, 1998.
- Yildirim, Halil, Hakan Morcali, Ahmet Turan, and Onuralp Yucel. 2013. **"Nickel Pig Iron Production from Lateritic Nickel Ores ."** *Ferronickel Production and Operation*: 237
- Zhai, Y.C., Mu, W.N., Liu, Y., Xu, Q., 2010. **“A green process for recovering nickel from nickeliferous laterite ores.”** Transactions of the Nonferrous Metals Society of China 20, 65–70.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### A. Perhitungan Stokiometri

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses reduksi laterit terdapat beberapa reaksi kimia yang terlibat, seperti reduksi, dekomposisi, reaksi *boudouard*. Persamaan reaksi yang terjadi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Data yang dibutuhkan dalam perhitungan komposisi material.

#### 1. Bijih Nikel Laterit

Dari data pengujian EDX, diperoleh presentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam bijih nikel laterit.

Tabel 1. Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Mn	Cr
% Wt	1.25	57.95	11.525	7.58	0.52	0.54	2.2	1.69

Dari data pengujian XRD, mineral-mineral kompleks yang terkandung dalam laterit diolah menjadi senyawa oksida, antara lain :

- Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- Nikel oksida ( $\text{NiO}$ )

## 2. Reduktor

Dari data pengujian *proximate analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi batu bara 42,35%, konsentrasi arang batok kelapa 64,51% dan konsentrasi *green coke* 72,84%.

Dari kadar unsur dalam laterit, maka jumlah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$  diketahui dengan cara sebagai berikut :

- Berat  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam laterit

$$\begin{aligned}\% \text{Wt } \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3}{2 \text{ Ar Fe}} \times \% \text{Wt Fe} \\ &= \frac{159,688}{55,84} \times 57.95\% = 82.861 \%\end{aligned}$$

- Berat  $\text{NiO}$  dalam laterit

$$\begin{aligned}\% \text{Wt } \text{NiO} &= \frac{\text{Mr } \text{NiO}}{\text{Ar Ni}} \times \% \text{Wt Ni} \\ &= \frac{74,68}{58,69} \times 1.25 \% = 1.59 \%\end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh presentase  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$  dalam laterit. Jika diasumsikan dalam 100 gram *ore* maka diperoleh massa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$  yaitu sebagai berikut.

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 82,861 \text{ gram}$$

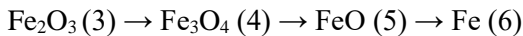
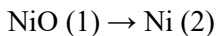
$$\text{NiO} = 1,59 \text{ gram}$$

Dari massa kedua senyawa maka diperoleh jumlah mol yang terkandung dalam laterit yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3} \\
 &= \frac{82,861}{159,688} \\
 &= 0,5189 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NiO} &= \frac{\text{massa NiO}}{\text{Mr NiO}} \\
 &= \frac{1,59}{74,68} \\
 &= 0.02129 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Dalam penelitian ini reduksi nikel oksida dan besi oksida pada laterit bertahap seperti berikut:



Dengan target reduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 = 100 \%$

reduksi  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} = 100 \%$

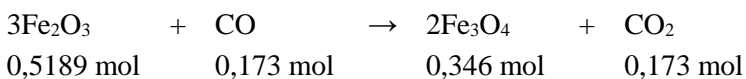
reduksi  $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} = 100\%$

reduksi  $\text{NiO} \rightarrow \text{Ni} = 100 \%$

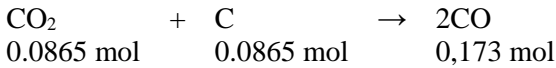
Natrium sulfat ditambahkan sebesar 10% dari massa total bahan untuk meningkatkan agregasi dari Fe-Ni.

Dari skema reaksi di atas dapat diketahui berapa mol gas CO yang dibutuhkan untuk reaksi dan berapa mol C untuk membentuk bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  membentuk gas CO yang harus bereaksi dengan C reduktor.

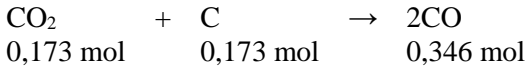
#### a. Reaksi 1



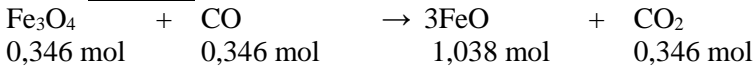
Reaksi *boudouard*



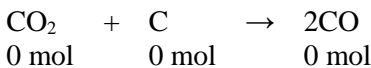
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 1 dengan C reduktor



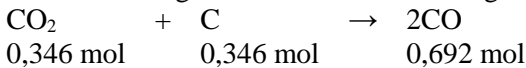
**b. Reaksi 2**



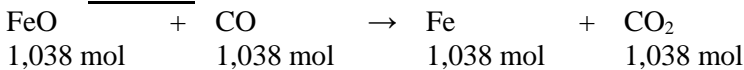
Reaksi Boduard



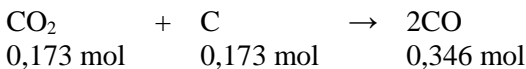
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 2 dengan C reduktor



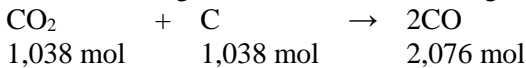
**c. Reaksi 3**



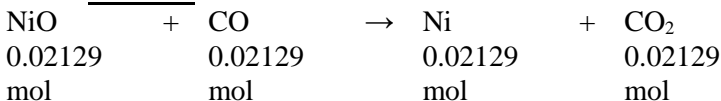
Reaksi Boduard



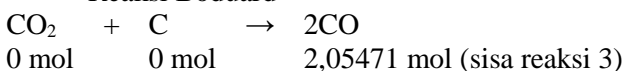
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 3 dengan C reduktor

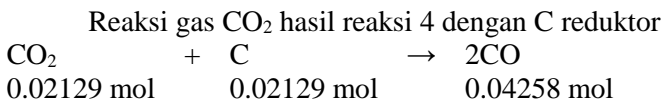


**d. Reaksi 4**



Reaksi Boduard





Sisa gas CO = 2,05471 mol + 0,04258 mol = 2,09729 mol

### **Perhitungan Kebutuhan Reduktor (Sebelum Penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

#### **a. Batu Bara**

$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0,0865 + 0,173 + 0 + 0,346 + 0,173 + 1,038 \\ &+ 0.02129 \\ &= 1,8378 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 1,8378 \text{ mol} \times 12.01115 \\ &= 22,041 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 22,0741 \\ &= 52,123 \text{ gram} \end{aligned}$$

#### **b. Arang Batok Kelapa**

$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0,0865 + 0,173 + 0 + 0,346 + 0,173 + 1,038 \\ &+ 0.02129 \\ &= 1,8378 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 1,8378 \text{ mol} \times 12.01115 \\ &= 22,041 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa arang yang dibutuhkan} &= \frac{100}{64,51\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{64,51\%} \times 22,0741 \\ &= 34,218 \text{ gram} \end{aligned}$$

**c. Green Coke**

$$\begin{aligned}\text{Total mol C} &= 0,0865 + 0,173 + 0 + 0,346 + 0,173 + 1,038 \\ &\quad + 0,02129 \\ &= 1,8378 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 1,8378 \text{ mol} \times 12,01115 \\ &= 22,0741 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa green coke yang dibutuhkan} &= \frac{100}{72,84\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{72,84\%} \times 22,0741 \\ &= 30,305 \text{ gram}\end{aligned}$$

**Perhitungan Kebutuhan Dolomit (Sebelum Penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam batu kapur yang diperoleh dari Gresik, Jawa Timur.

Tabel 2. Hasil EDX Batu Kapur

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium Oksida	CaO	25.21
2.	Magnesium Oksida	MgO	24.23

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah dolomit (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

**Perhitungan Kebutuhan Dolomit**

Mempertimbangkan kebutuhan gas CO<sub>2</sub> untuk reaksi *boudouard*. Batu kapur berperan sebagai penyedia gas CO<sub>2</sub> untuk reaksi *boudouard* yang akan menghasilkan gas reduktor CO, maka

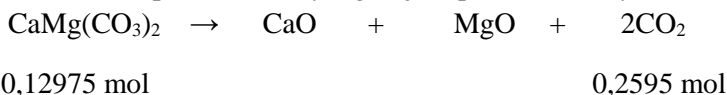


CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari dekomposisi termal pada dolomit perlu direaksikan dengan C pada batu bara.

#### Perhitungan Jumlah Gas CO<sub>2</sub>

$$\begin{aligned}\text{Total mol CO}_2 &= 0,0865 + 0 + 0,173 + 0 \\ &= 0,2595 \text{ mol}\end{aligned}$$

Reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada dolomit yaitu :



$$\begin{aligned}\text{Massa dolomit} &= \text{mol} \times \text{Mr CaMg(CO}_3)_2 \\ &= 0,12975 \times 184,3482 \\ &= 23,91918 \text{ gram}\end{aligned}$$

Pembulatan jumlah dolomit dijadikan sebesar 24 gram.

#### Perhitungan Kebutuhan Natrium Sulfat

Natrium sulfat yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total bijih, batu bara dan dolomit yang digunakan.

##### **1. Dengan Batu Bara**

$$\begin{aligned}\text{Massa total tanpa Na}_2\text{SO}_4 &= \text{massa bijih} + \text{massa batu bara} + \\ &\quad \text{massa dolomit} \\ &= 100 \text{ gram} + 52,123 \text{ gram} + 23,91918 \text{ gram} \\ &= 176,04218 \text{ gram}\end{aligned}$$

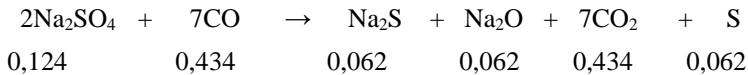
Maka, massa Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total yaitu 17,604 gram.

$$\text{Mol Na}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{massa Na}_2\text{SO}_4}{\text{Mr Na}_2\text{SO}_4}$$

$$= \frac{17,604}{142,042} = 0,124 \text{ mol}$$

Sehingga, reaksi reduksi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oleh gas CO yng terjadi yaitu sebagai berikut.

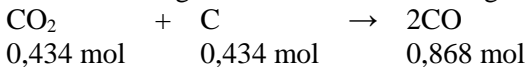
### **Reaksi 5**



### **Reaksi boudouard**



Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 5 dengan C reduktor



$$\text{Total mol C} = 1,8378 \text{ mol} + 0,434 \text{ mol} = 2,2718 \text{ mol}$$

## **2. Dengan Arang Batok Kelapa**

Massa total tanpa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  = massa bijih + massa arang +  
massa dolomit

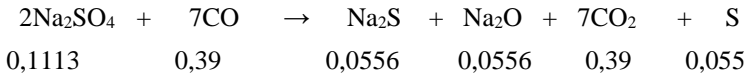
$$\begin{aligned} &= 100 \text{ gram} + 34,218 \text{ gram} + 23,91918 \text{ gram} \\ &= 158,218 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka, massa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total yaitu 15,8218 gram.

$$\begin{aligned} \text{Mol Na}_2\text{SO}_4 &= \frac{\text{massa Na}_2\text{SO}_4}{\text{Mr Na}_2\text{SO}_4} \\ &= \frac{15,8218}{142,042} = 0,1113 \text{ mol} \end{aligned}$$

Sehingga, reaksi reduksi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oleh gas CO yng terjadi yaitu sebagai berikut.

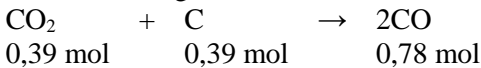
### Reaksi 5



### Reaksi *boudouard*



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 5 dengan C reduktor



$$\text{Total mol C} = 1,8378 \text{ mol} + 0,39 \text{ mol} = 2,2278 \text{ mol}$$

### 3. Dengan Green Coke

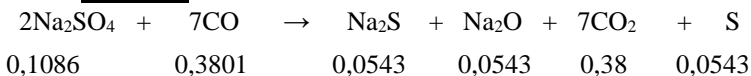
$$\begin{aligned} \text{Massa total tanpa Na}_2\text{SO}_4 &= \text{massa bijih} + \text{massa green coke} + \\ &\quad \text{massa dolomit} \\ &= 100 \text{ gram} + 30,305 \text{ gram} + 23,91918 \text{ gram} \\ &= 154,305 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka, massa Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total yaitu 15,43 gram.

$$\begin{aligned} \text{Mol Na}_2\text{SO}_4 &= \frac{\text{massa Na}_2\text{SO}_4}{\text{Mr Na}_2\text{SO}_4} \\ &= \frac{15,43}{142,042} = 0,1086 \text{ mol} \end{aligned}$$

Sehingga, reaksi reduksi Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oleh gas CO yng terjadi yaitu sebagai berikut.

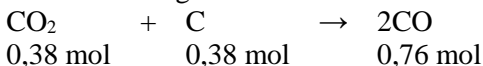
### Reaksi 5



### Reaksi *boudouard*



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 5 dengan C reduktor



$$\text{Total mol C} = 1,8378 \text{ mol} + 0,38 \text{ mol} = 2,2178 \text{ mol}$$

### **Perhitungan Kebutuhan Reduktor (Setelah Penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

#### **a. Batu Bara**

$$\text{Massa C} = 2,2718 \text{ mol} \times 12,01115 \text{ gr/mol} = 27,287 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 27,287 \\ &= 64,43 \text{ gram} \end{aligned}$$

#### **b. Arang Batok Kelapa**

$$\text{Massa C} = 2,2278 \text{ mol} \times 12,01115 \text{ gr/mol} = 26,758 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa arang yang dibutuhkan} &= \frac{100}{64,51\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{64,51\%} \times 26,758 \\ &= 41,479 \text{ gram} \end{aligned}$$

#### **c. Green Coke**

$$\text{Massa C} = 2,2178 \text{ mol} \times 12,01115 \text{ gr/mol} = 26,638 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa green coke yang dibutuhkan} &= \frac{100}{72,84\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{72,84\%} \times 26,638 \\ &= 36,57 \text{ gram} \end{aligned}$$

## **Perhitungan Kebutuhan Kanji**

### **a. Reduktor Batu Bara**

Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 100 gram, batu bara 64,43 gram, Natrium sulfat 24 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 5,67 gram

*Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : batu bara :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : kanji yaitu 100 : 64,43 : 19 : 5,67*

### **b. Reduktor Arang Batok Kelapa**

Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 100 gram, arang 42 gram, Natrium sulfat 24 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 5 gram

*Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : arang :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : kanji yaitu 100 : 42 : 16,5 : 5*

### **c. Reduktor Green Coke**

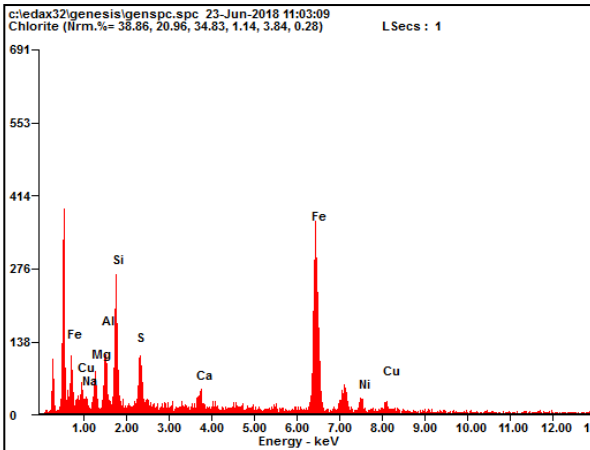
Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 100 gram, batu bara 37 gram, Natrium sulfat 24 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 4,83 gram

*Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : green coke :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : kanji yaitu 100 : 37 : 36,57 : 4,83*

## **Hasil Pengujian EDX**

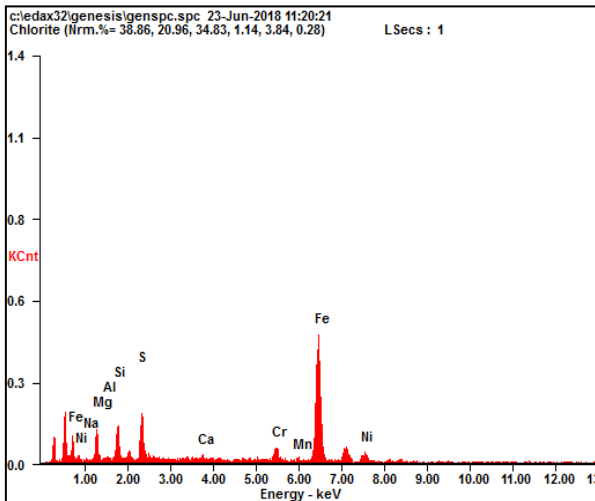
### **1. Hasil EDX Logam dengan Reduktor Batu Bara**

Hasil EDX dengan menggunakan reduktor batu bara menunjukkan kadar Ni sebesar 5.75 % dan Fe sebesar 52.84 %.



<i>Element</i>	<i>Wt %</i>	<i>At %</i>
<i>NaK</i>	01.88	03.42
<i>MgK</i>	05.20	08.95
<i>AlK</i>	06.68	10.37
<i>SiK</i>	13.26	19.76
<i>S K</i>	05.19	06.78
<i>CaK</i>	02.47	02.58
<i>FeK</i>	52.84	39.61
<i>NiK</i>	05.75	04.10
<i>CuK</i>	06.74	04.44

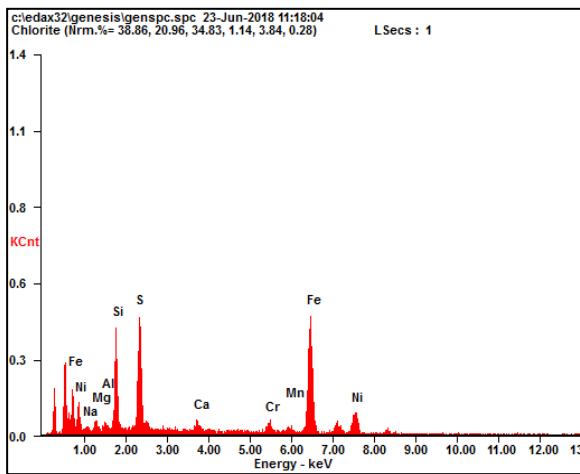
2. Hasil EDX Logam dengan Reduktor Arang Batok Kelapa  
 Hasil EDX dengan menggunakan reduktor Arang Batok Kelapa menunjukkan kadar Ni sebesar 8.54% dan Fe sebesar 61.22%.



<i>Element</i>	<i>Wt %</i>	<i>At %</i>
<i>NaK</i>	00.67	01.31
<i>MgK</i>	08.62	15.85
<i>AlK</i>	00.88	01.45
<i>SiK</i>	06.37	10.14
<i>S K</i>	07.01	09.78
<i>CaK</i>	01.03	01.15
<i>CrK</i>	04.60	03.96
<i>MnK</i>	01.05	00.86
<i>FeK</i>	61.22	49.01
<i>NiK</i>	08.54	06.50

### 3. Hasil EDX Logam dengan Reduktor *Green Coke*

Hasil EDX dengan menggunakan reduktor Arang Batok Kelapa menunjukkan kadar Ni sebesar 15.23% dan Fe sebesar 45.77%.



<i>Element</i>	<i>Wt %</i>	<i>At %</i>
<i>NaK</i>	01.09	02.04
<i>MgK</i>	02.14	03.81
<i>AlK</i>	01.39	02.22
<i>SiK</i>	12.67	19.49
<i>S K</i>	14.42	19.43
<i>CaK</i>	01.87	02.02
<i>CrK</i>	02.98	02.48
<i>MnK</i>	02.43	01.91
<i>FeK</i>	45.77	35.40
<i>NiK</i>	15.23	11.21

Hasil Uji Proximate Analysis  
a. Arang dan Green Coke

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

+

Nama Pemilik : Dede Zulyansyah  
Alamat Pemilik : Teknik Material ITS  
Nama Contoh : Green Coke & Arang  
Deskripsi Contoh : Bentuk : Padat/Cair/Gas  
Volume : -  
Kemasan : Plastik  
Kode Contoh : EN-009  
Tanggal Terima : 19 Mar 2018  
Tanggal Pengujian : 23 Mar 2018  
Tanggal Selesai Pengujian : 29 Mar 2018  
Jumlah Contoh : 02

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Green Coke	Moisture In Sample	1,58	%, Adb	ASTM D 3173-11
		Volatile Matter	18,29	%, Adb	ASTM D 3175-11
		Ash Content	7,29	%, Adb	ASTM D 3174-12
		Fixed Carbon	72,84	%, Adb	ASTM D 3172-13
2	Arang Kelapa	Moisture In Sample	13,98	%, Adb	ASTM D 3173-11
		Volatile Matter	18,34	%, Adb	ASTM D 3175-11
		Ash Content	3,17	%, Adb	ASTM D 3174-12
		Fixed Carbon	64,51	%, Adb	ASTM D 3172-13

Suhu : 20,1°C  
Humidity : 57%  
Analisis : MBB  
Catatan:  
1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji  
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.  
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Manajer Puncak  
Laboratorium Energi dan Lingkungan



Dr. Ir. Susianto, DEA  
NIP. 19620820 198903 1 004

Manajer Teknis

Vita Yuliana S.Si  
NIP.H. 914014001

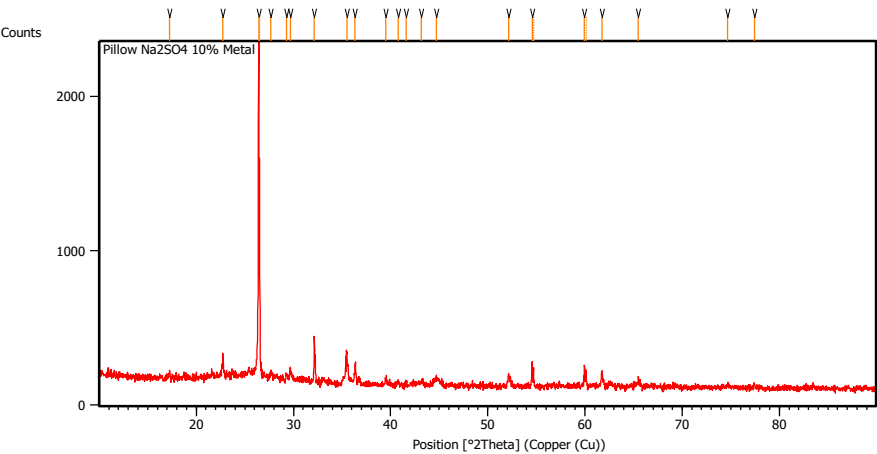


Kandungan Sulfur pada Reduktor

Jenis reduktor	%wt Sulfur
Batu Bara	0,32
Arang Batok Kelapa	0,1
Green Coke	1,26

Hasil Pengujian XRD

1. Reduktor Batu Bara

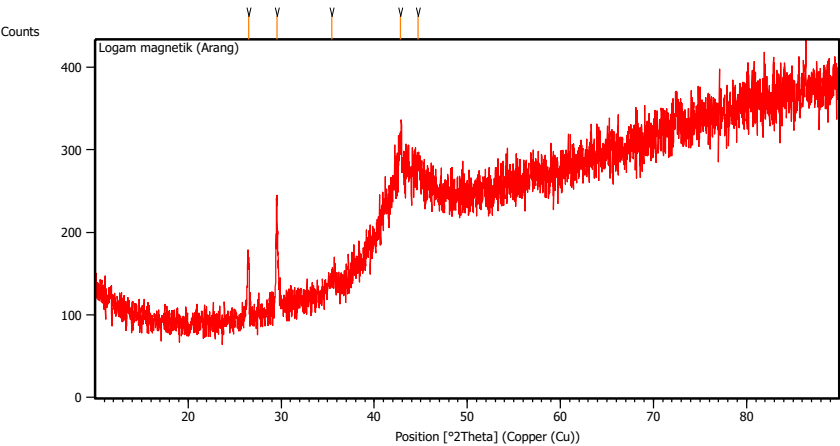


Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.2543	43.76	0.1004	5.13946	2.02
22.7522	113.89	0.1004	3.90845	5.25
26.4296	2169.50	0.1020	3.36960	100.00

26.5103	1161.48	0.0408	3.36788	53.54
27.6962	37.58	0.2448	3.21832	1.73
29.2893	23.39	0.2040	3.04678	1.08
29.6897	65.49	0.1632	3.00661	3.02
32.1466	275.09	0.0612	2.78220	12.68
35.4923	194.97	0.0612	2.52723	8.99
36.3509	129.81	0.0816	2.46948	5.98
39.5242	46.60	0.1632	2.27821	2.15
40.7903	27.01	0.2448	2.21037	1.25
41.5966	21.17	0.2448	2.16937	0.98
43.1856	28.29	0.4896	2.09316	1.30
44.7011	38.96	0.6528	2.02565	1.80
52.1395	83.49	0.1224	1.75281	3.85
54.5630	162.57	0.0816	1.68054	7.49
54.7091	126.71	0.0612	1.68057	5.84
59.9523	136.32	0.0612	1.54171	6.28
60.1280	95.72	0.0612	1.54145	4.41
61.7486	100.54	0.1224	1.50110	4.63
65.4838	67.49	0.0816	1.42422	3.11
74.6816	14.47	0.9792	1.26996	0.67
77.4327	38.13	0.1224	1.23156	1.76

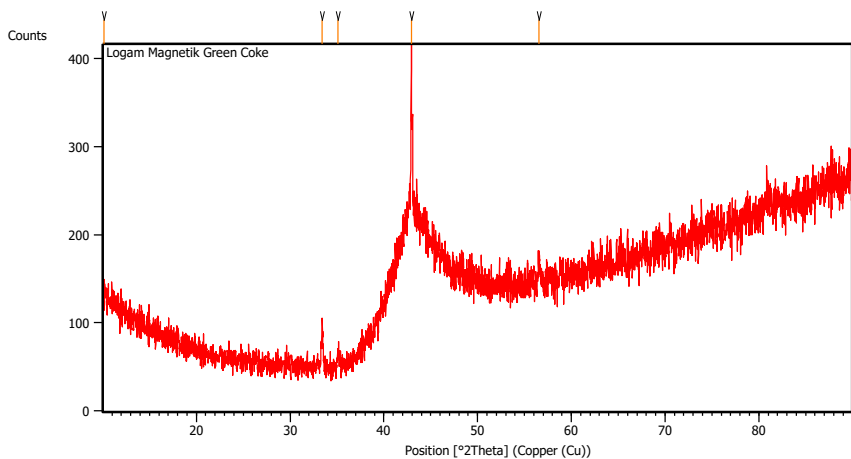
2. Reduktor Arang Batok Kelapa



**Peak List:** (*Bookmark 3*)

Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
26.4892	63.64	0.2007	3.36494	50.79
29.5387	125.29	0.0836	3.02413	100.00
35.4741	14.49	0.8029	2.53058	11.57
42.7937	78.25	0.2676	2.11317	62.46
44.7008	33.11	0.6691	2.02734	26.42

### 3. Reduktor Green Coke



**Peak List:** (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.1762	18.53	0.2007	8.69273	8.30
33.4296	52.65	0.1338	2.68051	23.57
35.1305	18.13	0.2676	2.55453	8.12
42.9341	223.33	0.0612	2.10484	100.00
56.5492	21.26	0.2007	1.62749	9.52

## LAMPIRAN DOKUMENTASI



Proses drying di oven pada temperatur  $110^{\circ}\text{C}$



Briket setelah drying



Muffle Furnace pada saat proses reduksi pada temperatur  $1400^{\circ}\text{C}$



Hasil Proses Reduksi



Hasil Reduksi setelah Magnetik Separator



Pengujian *bulk density* green coke



Pengujian *bulk density* Batu bara



Pengujian *bulk density* Arang Batok Kelapa

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Doloksanggul, 04 Juni 1996. Penulis merupakan anak keempat dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 173395 Doloksanggul, SMPN 1 Doloksanggul dan SMA N 2 - Asrama Yayasan Soposurung Balige. Saat ini penulis melanjutkan studinya melalui jalur SNMPTN di Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 2714100054.

Di Departemen Teknik Material penulis melakukan penelitian Tugas Akhir bidang studi Ekstraksi, pada Laboratorium Pengolahan Material dengan judul tugas akhir **“REDUKSI LANGSUNG BIJIH NIKEL LATERIT LIMONITIK DENGAN VARIASI JENIS REDUKTOR TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA *RECOVERY* MENGGUNAKAN *BED BATU BARA*”**. Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS sebagai Staff Departemen Keilmiah. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. ANTAM (Persero) Tbk. UBPP Logam Mulia di Departemen Pemurnian Emas dan Perak. Penulis dapat dihubungi di nomor 082165315688 dengan alamat email dedezulyansyah@gmail.com.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*